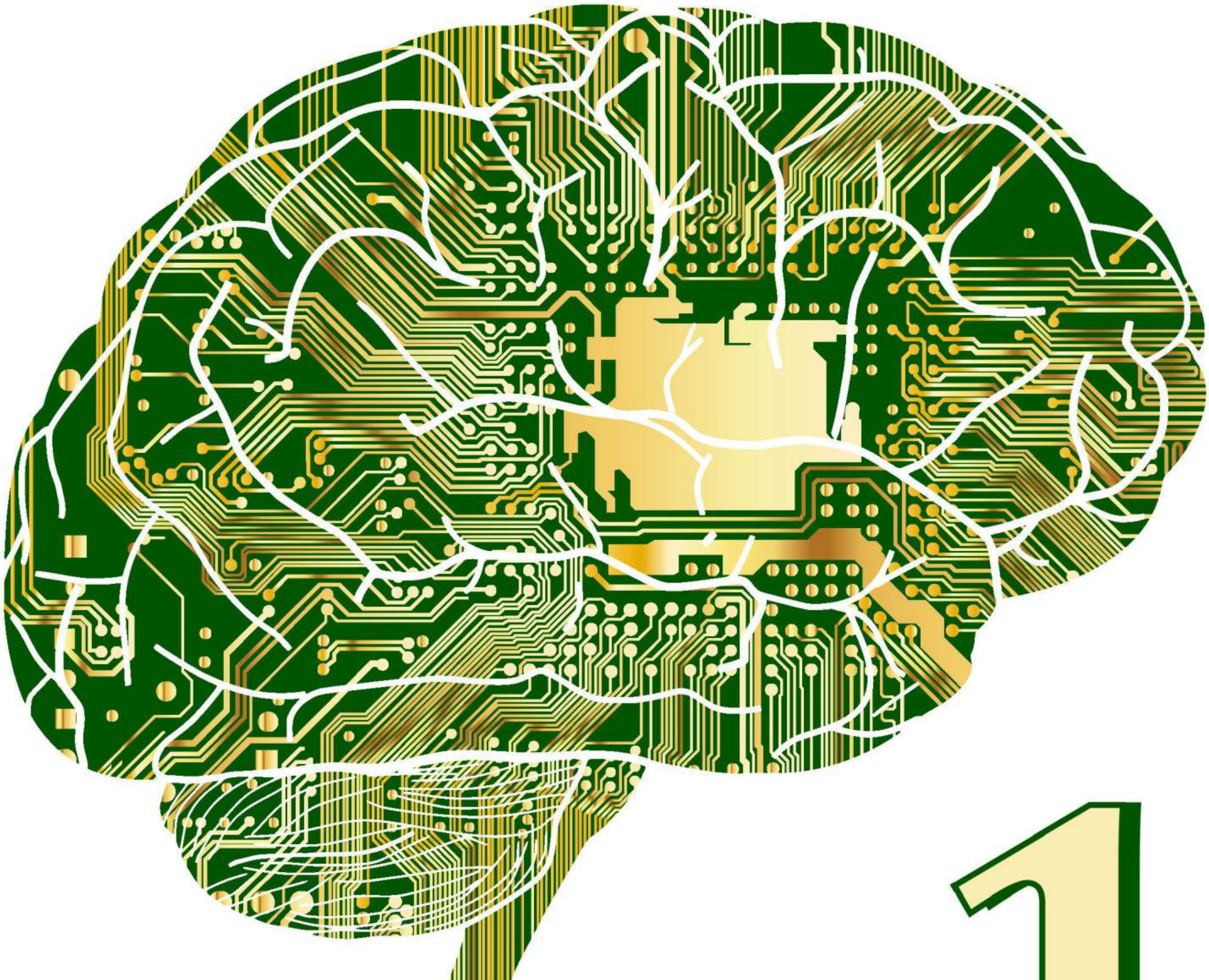
Simon Alpár Tunyagi Arthúr Róbert

ELEKTRONIKA

LABORATÓRIUMI PRAKTIKUM



1

Elméleti és kísérleti alapok

Presa Universitară Clujeană

Simon Alpár • Tunyagi Arthúr Róbert

ELEKTRONIKA

LABORATORIUMI PRAKTIKUM

1. Kötet

Elméleti és kísérleti alapok

Simon Alpár • Tunyagi Arthúr Róbert

ELEKTRONIKA

LABORATORIUMI PRAKTIKUM

1. Kötet

Elméleti és kísérleti alapok

Presa Universitară Clujeană / Kolozsvári Egyetemi Kiadó

2021

Referenți științifici:

Conf. dr. Járai-Szabó Ferenc

Conf. dr. Libál András

ISBN general: 978-606-37-1254-8
ISBN specific: 978-606-37-1255-5

Universitatea Babeş-Bolyai
Presa Universitară Clujeană
Director: Codruţa Săcelean
Str. Hasdeu nr. 51
400371 Cluj-Napoca, România
Tel./Fax: (+40)-264-597.401
E-mail: editura@ubbcluj.ro
http://www.editura.ubbcluj.ro/

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETŐ

Az *Elektronika* az információt hordozó villamos jelek előállításával, továbbításával, feldolgozásával és felhasználásával foglalkozó műszaki tudományág. Szinte észrevétlenül jutottunk el oda, hogy mindennapjaink szerves részévé vált, annak szinte minden területén alapvető szerepet kap, még akkor is, ha ez közvetlenül nem is olyan nyilvánvaló számunkra. Ma már sem a modern háztartási élet, sem a műszaki tudományos élet nem mellőzheti az elektronika vívmányait. A híradástechnika, a távközlés, a multimédiás eszközök, a különböző érzékelők felhasználása, a folyamatvezérlések, a robotika és a mechatronika, illetve a kísérleti fizika mind-mind elképzelhetetlenek elektronika nélkül.

Ezek a megállapítások magyarázzák az egyre növekedő érdeklődést és igényt elektronika iránt, ezért elsőrendű célunk lett az, hogy anyanyelvi szakkönyveket adjuk mindazok kezébe, akiknek a tanulmányaik során az *Elektronika* kötelező tantárgy. Ugyanakkor, felépítése, tartalma és színvonala tekintetében a mű egy szélesebb felhasználói tábort is megcéloz, és túltekint az egyszerű egyetemi tankönyvek vagy laboratóriumi útmutatók keretein. Egyidejűleg a tapasztalati alapozással, a leírtak megcélozzák az érdeklődést mutató olvasó felkészítését is a későbbi életpályája által felállított követelmények kielégítésére. Segítséget és egy lehetséges módszersorozatot szeretnénk nyújtani a tudományos és ipari kutatásokra jellemző kísérleti mérések elvégzéséhez vagy a pedagógusi pályán bemutatásra kerülő szemléltető kísérletekhez szükséges gyakorlati hozzáállás, munkastílus, technikák és fogások kialakításához.

Az „*Elektronika laboratóriumi praktikum*” címet viselő munkát három kötetesre terveztük.

Egy hallgatói laboratóriumban végzett gyakorlati tevékenységek legfontosabb célja a közvetlen tapasztalati alapot megadni az előadásokon, szemináriumokon elhangzott elmélethez és számításokhoz. Ez a tapasztalat feltételezi, az elméleti alapok mellett, az alapvető elektronikai mérési módszerek megismerését, illetve az elektronikai szakeszköztár helyes használatának elsajátítását. Ezért lett a mozaikszerűen összeállított ismereteket tartalmazó első kötet alcíme „*Elméleti és kísérleti alapok*”. Ez az első rész igyekszik áttekinteni és ismertetni a munkavédelmi rendszabályokat és a laboratóriumi munka sajátosságait, bemutatja a jellegzetes laboratóriumi szakeszköztárt, és betekintést nyújt a passzív, illetve az aktív alkatelemek működésébe. Ugyanakkor ide gyűjtöttük össze azokat az információkat, amelyekre a gyakorlati munka során alkalomszerűen szükség lehet: rajzjelek, adatlapok, értéksorok, szín- és betűkódok, forrasztás, felületszerelt alkatelemek, anyagállandók. Igyekeztünk röviden áttekinteni olyan elméleti részeket is, amelyek ismerete hasznosnak bizonyulhat a későbbiek során: a decibel fogalma, hálózatanalízis, négypólusok, Bode diagramok, komplex számok módszere, a digitális elektronika matematikája, stb.

Terveink szerint az első kötetet két olyan folytatás követi majd, amelyek már nagyon konkrét gyakorlati feladatok megismerését és tanulmányozását tűzik ki célul, de mindezt úgy, hogy figyelembe veszi az elektronika természetes felosztását az analóg, illetve digitális területekre.

Értelemszerűen tehát a két folytatás alcíme „*Analóg elektronika gyakorlatok*” és „*Digitális elektronika gyakorlatok*” lesz. Mindhárom kötetet egy-egy viszonylag bő, válogatott irodalomjegyzék és webográfia zár. Ezek plusz segítséggel szolgálhatnak azok számára, akik a tárgyaltakat részletesebben, mélyebben és magasabb szinten kívánják megismerni.

Reméljük, hogy a kötetek kiindulópontot jelenthetnek mindazok számára, akik, az elméletibb villamosságtani alapismeretek birtokában, a továbbiakban a gyakorlati elektronika irányába kívánják elkötelezni magukat. Ugyanakkor ott él bennünk annak a reménysége is, hogy a köteteket lapozgatva, az újonc pályakezdők kedvet kapnak ehhez a rendkívül izgalmas és kalandos szakterülethez.



dr. Simon Alpár
docens



dr. Tunyagi Arthúr
adjunktus

2. ÁLTALÁNOS LABORATÓRIUMI RENDSZABÁLYOK

Egy hallgatói laboratóriumban a gyakorlati foglalkozássorozat megkezdése előtt meg kell ismerni és el kell sajátítani a munkavédelmi és tűzrendészeti, magatartási, illetve házirendi előírásokat. Ennek megtörténését és a személyi felelősségvállalást, az érvényben levő törvényes előírásoknak megfelelően, egy jegyzőkönyv dokumentálja amelyet a jelenlevők (oktatók, hallgatók, laboránsok) az adott egyetemi félév első óráján írnak alá. A szabályzat elsajátítása és a jegyzőkönyv aláírása nélkül nem lehet résztvenni a laboratóriumi gyakorlatokon és bármilyen szintű gyakorlati munkát végezni tilos. A továbbiakban felsoroljuk a legfontosabb előírásokat.

2.1 Biztonsági intézkedések

- A laboratórium területén (tanórán és azon kívül) a rend, a fegyelem és a tisztaság megtartása kötelező, szigorúan tilos a dohányzás, evés és ivás!
- A kabátok, táskák, csomagok csak az arra kijelölt helyen (fogason) tartandók. A teremkijárat felé vezető utak, folyósók mindig legyenek szabadok!
- A munkavégzéshez szükséges egyéni felszerelésen (íróeszköz, füzet/papír, vonalzó, radír, zsebszámológép, mm papír, stb.) kívül egyéb tárgy csak a foglalkozást vezető tanár előzetes engedélyével vihető be (könyv, számítógép, telefon, fényképezőgép stb.) és kizárólagosan a gyakorlat elvégzéséhez használható.
- A laboratóriumban csak a foglalkozást vezető tanár által meghatározott feladatot, vagy munkát szabad elvégezni az érvényben levő rendszabályok szigorú betartásával.
- A laboratóriumi gyakorlatok elméleti háttere és a mérési útmutató ismerete kötelező.
- A laboratóriumi eszköztárat használjuk rendeltetésének megfelelően – a felhasználó(k) saját felelősséget vállalnak az eszköztárért, saját és társaik testi épségéért.
- A laboratóriumi rendszabályok megsértése fegyelmi eljárást vonhat maga után, a szándékos rongálásból, vagy gondatlanságból eredő anyagi kár pedig megtérítendő.
- A közvetlen munkahelyet (munkaasztalt) mérések közben is rendben kell tartani, a gyakorlat befejezése után pedig rendben kell hagyni és a használt eszközöket helyükre kell tenni.

2.2 Munkavédelem

- A laboratóriumban hozzáférhető helyen kell legyen az elsősegélynyújtási csomag!
- A laboratóriumi gyakorlatok során, a tantárgy rendeltetése és sajátosságai miatt, a hallgatók nem kerülnek kapcsolatba biológiai veszélyforrásokkal.
- A laboratóriumi gyakorlatok során, az esetleg előforduló vegyi veszélyforrások a forraszanayagok, a folyasztószerek és a tisztító folyadékok.
- Nem megfelelő használat esetén a forrasztópáka égési sebeket okozhat.
- Nem rendeltetésüknek megfelelőn használva a forrasztáshoz szükséges anyagok (ón-ólom ötvözet, sav, stb.) mérgezést és/vagy égési sebeket okozhatnak.
- A vegyszereket megkóstolni szigorúan tilos!

- A kézi szerszámok (műszerész csipesz, fogók, forrasztópáka) nem szakszerű használata testi sérüléseket okozhatnak.
- A karbantartási és javítási műveleteket kizárólag a szakavatott személyzet (laboráns, technikus, villanyszerelő) végezhet.

2.3 Tűzvédelem

- A laboratóriumban hozzáférhető helyen legyen tűzoltó készülék (poroltó)!
- Az *Elektronika* laboratóriumban tűzveszélyt jelenthetnek a gyúlékony anyagok, a meghibásodott elektromos berendezések, a zárlat („rövidzár”) és a felügyelet nélkül hagyott forrasztópáka.
- Tilos gyúlékony vagy robbanásveszélyes anyagot a laborba behozni, vagy ott tárolni.
- A laboratóriumban és a teljes épületben a dohányzás tilos!
- Az elektromos berendezések tüzeinek oltásához kizárólagosan poroltó használható, a vízoltó vagy haboltó használata az elektronika laborban tilos!
- Tűzoltókészülékkel embert oltani nem szabad!
- Tűz esetén, vagy ha égésszagot érzünk, azonnal szólni kell a mérésvezető tanárnak vagy az ügyeletet tartó kisegítő személyzetnek (laboránsnak), a tűzoltás a laboratóriumi személyzet feladata.

2.4 Érintésvédelem

- Villamos berendezést, eszközt csak szemrevételezés után, megfelelő kábelezéssel, kapcsolóval és biztonsági elemekkel szabad üzemeltetni.
- Bármely hiányt vagy rendellenességet azonnal jelenteni kell és a szobán forgó villamos berendezés vagy eszköz további használata tilos.
- Az energiaforrás elérésére, csak szabványos hosszabbítót lehet használni. Ha az üzemeltetett eszköz védővezetős („földeléses”), akkor a hosszabbítónak is azzal kell rendelkeznie.
- Munka közben figyeljünk oda az áramütés veszélyére, tilos mindennemű elektromos berendezést vizes vagy nedves kézzel megfogni.
- Kábelsaruval, banándugóval vagy krokodilcsipesszel ellátott műszerzsinórokkal történő huzalozásnál gondosan oda kell figyelni az érintésvédelmi előírásokra.
- A vezetékhosszabbítást barkácsolt módon ne készítsünk, tilos a vezeték toldása, javítása, Az összesodort vezetőnek szigetelőszalagos betekerése érintésvédelmileg nem biztonságos.
- A hallgatói áramköröket mindig feszültségmentes állapotban kell összeállítani, majd meg kell mutatni az elkészített kapcsolást az oktatónak és kizárólag annak engedélyével kapcsolható rá tápfeszültség a felélesztés céljából.
- A foglalkozás befejezése után az elektromos berendezéseket áramtalanítani kell.

3. A LABORATÓRIUMI MUNKA

A hallgatói laboratóriumban elvégzendő gyakorlati feladatok nem különböznek lényegesen egy kutatólaboratóriumban vagy a műszaki élet bármely helyszínén folytatott munkától. Az elvégzendő tevékenységek legfontosabb lépései és mozzanatai az alábbiak:

1. a munkavédelmi, érintésvédelmi és tűzvédelmi előírások megismerése, elsajátítása és szigorú betartása
2. elméleti felkészülés a munkára és a fontosabb lépések megtervezése (munka- és ütemterv készítése)
3. a mérőáramkör összeállítása és alapos ellenőrzése, majd a laborvezetői ellenőrzés és engedélyezés után annak felélesztése
4. a mérések elvégzése és a mérési adatok rögzítése (mérési jegyzőkönyv készítése)
5. a mérési adatok feldolgozása és kiértékelése
6. a kiértékelő jelentés elkészítése

3.1 Munkavédelem, érintésvédelem és tűzvédelem

A figyelmes, felelősségteljes és következetes munka elvégzése alapos felkészülést és fegyelmezettséget igényel. A közhiedelemmel ellentétben a hálózati villamos energia (áram) folyamatos használata miatt a laboratórium nem egy veszélyesebb munkahely, de bizonyos általános vagy szakspecifikus szabályok, előírások (lásd az előző, 2. fejezetet) szigorú betartása fontos. A legfontosabb és legegyszerűbb szabály az, hogy a balesetet meg kell előzni, előre kell felmérni és felismerni az esetleges veszélyhelyzeteket és el kell azokat kerülni. A balesetek megelőzését szolgálja a szabályok és előírások ismerete és betartása, illetve a felkészülés a gyakorlatra (tudni, hogy mit kell csinálni, mi várható, milyen veszélyhelyzetek jelentkezhetnek, hogyan kerülhetők azok el, a nemkívánatos bekövetkezés esetén mit kell tenni stb.).

3.2 Elméleti felkészülés

A laboratóriumi gyakorlatokra jól fel kell készülni. Ez feltételezi az elméleti felkészülést a jegyzet, a szemináriumi számítások és a mérési tájékoztatók alapos tanulmányozása révén. Felkészüléshez ajánlatos a kijegyzetelős technikát választani, ez a későbbiekben nagyon sok hasznos és használható információt tartalmazhat. Erre a célra lehet rendszeresíteni füzetet vagy akár önálló, de archíválható lapokat. A felkészülésnek tartalmaznia kell a mérés vázlatos leírását, annak megtervezett lépéseit, a szükséges kapcsolási rajzokat, a mérési eredmények rögzítéséhez használandó táblázatokat, a kiértékelés lépéseit, illetve kiértékeléshez szükséges összefüggéseket.

3.3 Mérőáramkör összeállítása, ellenőrzése, felélesztése

A kísérletek és mérések elvégzéséhez figyelmesen készítsük el a mérőáramkört. Ehhez használjuk az elméleti anyagban vagy a mérési tájékoztatóban erre a célra bemutatott kapcsolási rajzot. A mérőáramkörhöz csak az előírt alkatelemeket használjuk és mindig feszültségmentes állapotban állítsuk össze. A dugaszolós próbapanelen összeállított vagy a forrasztással készített panelt szigorúan tilos előzetes ellenőrzés nélkül feszültség alá helyezni.

A kész áramkört először alapos szemrevételezéssel kell ellenőrizni, majd meg kell mutatni a gyakorlatot vezető oktatónak. Csak a laborvezető kizárólagos engedélyezése után szabad feléleszteni a helyesen összeállított és leellenőrzött mérőáramkört! A felélesztés történjen mindig a mérési tájékoztatóban előírt feszültségértékekkel.

3.4 Mérések és adatrögzítés

A mérések során célszerű követni a felkészüléskor eltervezett lépéseket. A mérőeszközök helyes használata révén kapott mérési eredményeket megfelelő számú tizedesre, ill. értékes jegyre kerekítve, mértékegységgel együtt szokás megadni (alapszabály, hogy a méréshez használt mérőeszköz felbontásával megegyező számú tizedes jegyre kerekítendő a végeredmény) és az adatokat könnyen áttekinthető táblázatba kell rögzíteni.

Gyakorlati szempontból jó, ha a méréseket végzőnek egyéni felszerszerelései között megtalálható íróeszköz, füzet vagy papír, vonalzó, radír, zsebszámológép, műszaki papír. A mérési jegyzőkönyvet kézzel szokás írni, mert az a helyszínen, a mérések alatt készül. Tartalmaznia kell a mérés helyét és idejét, a méréshez használt mérőeszközök nevét és az azonosításukhoz szükséges adatokat (gyári vagy leltári szám, esetleg típusszám), a mérés szempontjából lényeges külső tényezők mért értékét, bármilyen olyan eseményt vagy észrevételt, amit a mérések közben figyeltek meg.

A jegyzőkönyv legfontosabb része a primér adatok, a mérőműszerekről leolvasott értékek. Rögzíteni kell azok mértékegységét is, esetleg megjegyzésként érdemes feltüntetni a mérőeszközök felhasznált mérési skála-tartományát is. Ha a dolgozat sajátosságai megkövetelik, készíthető primér grafikon is. Ez a diagram szükség esetén hasznos információkat szolgáltathat az mérési elvek és módszerek hitelességéről. Ezért célszerű A4-es mm papíron, léptékhelyesen, a léptékek feltüntetésével elkészíteni, a tengelyeken pedig meg kell adni az ábrázolt mennyiségek nevét és dimenzióját.

3.5 Adatfeldolgozás és kiértékelés

A mérési adatok feldolgozását a kiértékelés lépéseit követve végezzük el, felhasználva az ahhoz szükséges összefüggéseket. A mérési adatok kiértékelése egy igen összetett folyamat, adatfeldolgozást (számításokat), adatábrázolást (grafikonokat), a mérési hibák felbecsülését (mérési eredmények bizonytalanságának meghatározását) és a kapott végeredmények rövid, szöveges értékelését, illetve magyarázatát feltételezi.

3.6 Kiértékelő jelentés készítése

Az eredményeket összefoglaló, végső, értékelő jelentés készüljön számítógépes szövegszerkesztéssel. Az elkészítés során figyeljünk az esztétikus kivitelezésre, a forma és a tartalom egységére. Munkánkban tekintsük irányadónak azt, hogy egy harmadik (nem mindig szakavatott) személy számára a jelentésben feldolgozott és bemutatott információ legyen világos és áttekinthető, teljes mélységben érthető, illetve reprodukálható.

Bár a kiértékelő jelentések terjedelmére vonatkozóan nem szokott lenni semmiféle megkötés, oda kell figyelni arra, hogy az tartalmazza:

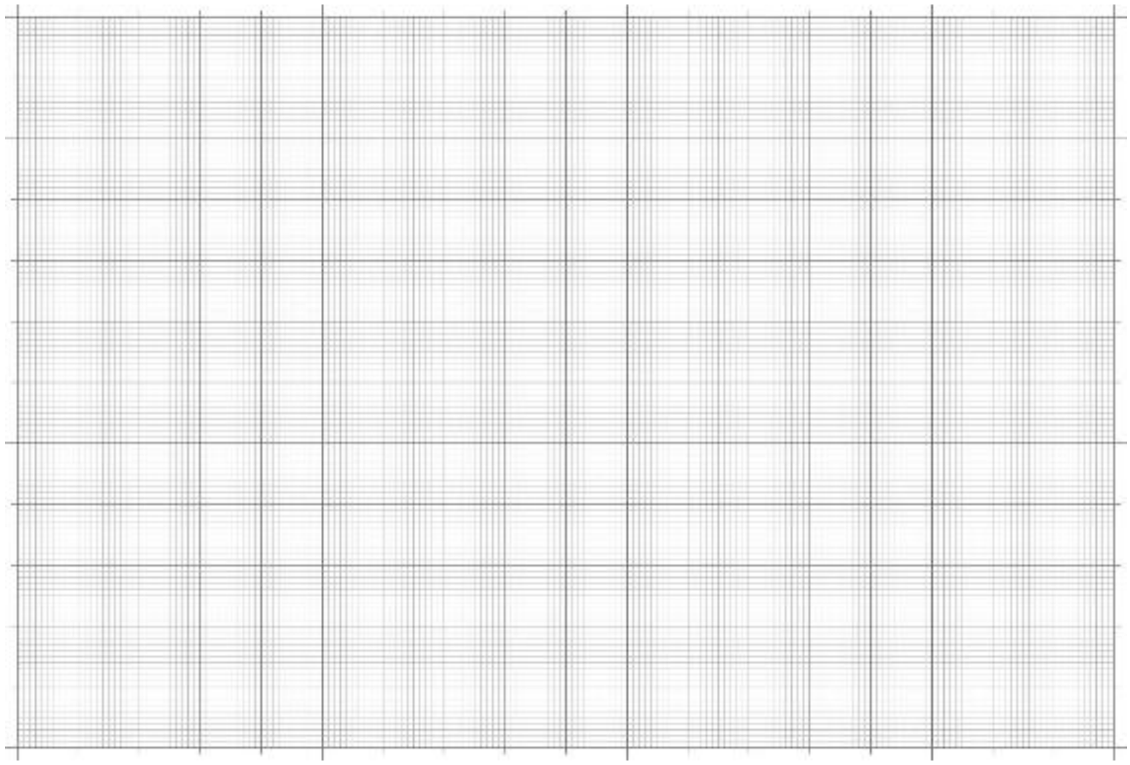
- a mérés helyét és idejét
- a mérést végző és a jelentést készítő személy(ek) nevét és hovatartozását (évfolyam, szak, csoport stb.)
- a gyakorlat nevét és a mérések célját
- saját szavakkal megfogalmazott és leírt mérési elveket, a mérendő mennyiségek megnevezését, leírását, jelölését
- a mérési összeállítás vázlatát és a mérés lépéseinek saját szavakkal megfogalmazott leírását
- a táblázat(ok)ba foglalt mérési eredményeket
- a mérési eredmények kiértékelést (levezetéseket, számításokat, grafikonokat)
- a kapott végeredmények rövid, szöveges értékelését, magyarázatát, illetve a következtetéseket
- kimerítő és precíz irodalomjegyzéket (a felhasznált szakirodalom, a könyvészeti források és webográfiák felsorolását)

3.7 Segédanyagok

A kapcsolási rajzok, értékelő leírások, táblázatok és grafikonok igényes elkészítéséhez és szemléltetéséhez számos fizetős vagy ingyenes számítógépes program(csomag) használható. A továbbiakban, a teljesség vagy bármilyen elvárás igénye nélkül, felsoroljuk a legfontosabbakat, legelterjedtebbeket. Ezek használatát számos kézikönyv, leírás vagy a „Súgó” menüpont segíti.

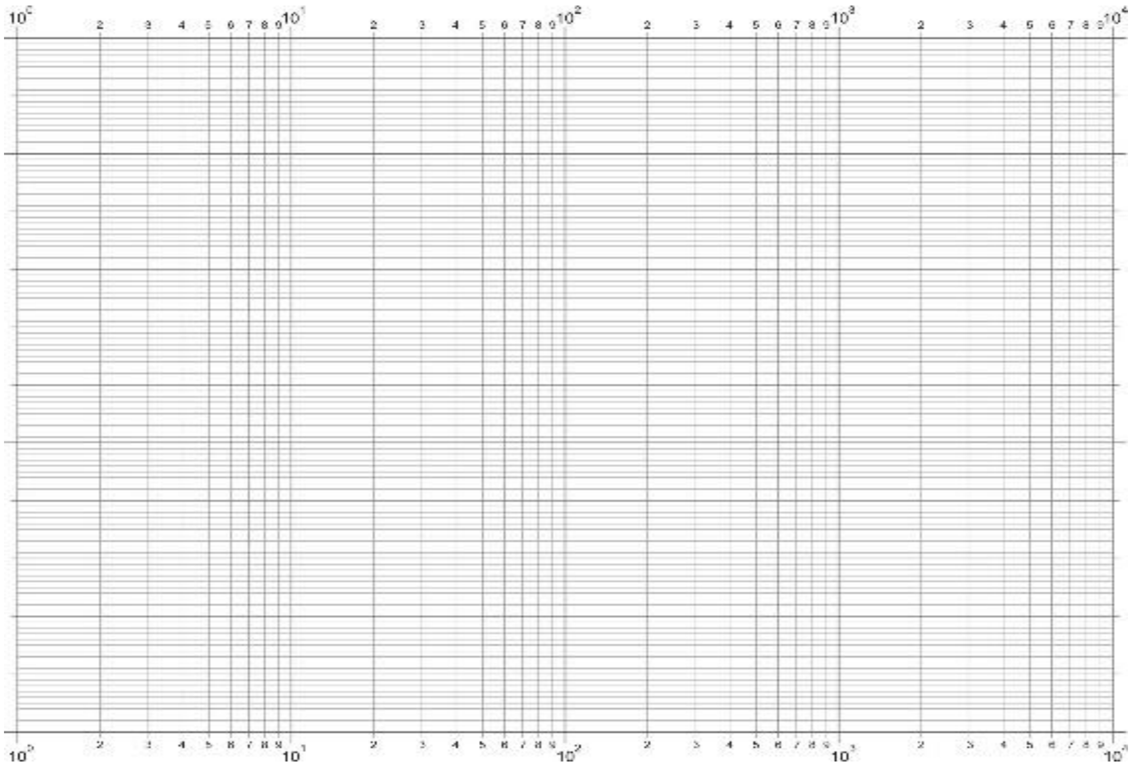
- A kapcsolási rajzok elkészítésére és a működés szimulációjára:
  TINA TI, *Fritzing*, *NI Multisim*, *SolvElec*, *LogicSim*, *Deeds DcS Digital Circuit SImulator*, *MicroCap*, *LTSpice*, *CircuitMaker*
- A kapcsolási rajzok és egyéb szemléltető ábrák grafikus megrajzolására:
  CorelDraw, *Inkscape*, *ProfiCAD*, *CircSchema, Google Drawings, Circuit Diagram* (on-line)
- A szövegek megírásra és szerkesztésre:
  Microsoft Office Word, *Libre Office Writer*, *Google Docs*, *WPS Writer*, *LaTex*
- Táblázatkészítésre, kitöltésre és automatikus számolások elvégzésére:
  Microsoft Office Excel, *Libre Office Calc*, *Google Sheets*, *WPS Spreadsheet*, *LaTex*
- A grafikonok készítésére és tudományos görbeillesztésre:
  OriginLab, *SciDavis*, *GNUPlot*, *SigmaPlot*, *QtiPlot*, *Python*

Amennyiben mégis a mérési adatok kézi ábrázolása mellett döntünk, az mindig műszaki papíron kell történjen. A legelterjedtebb és legismertebb műszaki papír az úgynevezett *mm*-papír (*milliméterpapír*), amely egy mm^2-ekre beosztott papírt jelent. Ennek beosztása minden irányba lineáris.

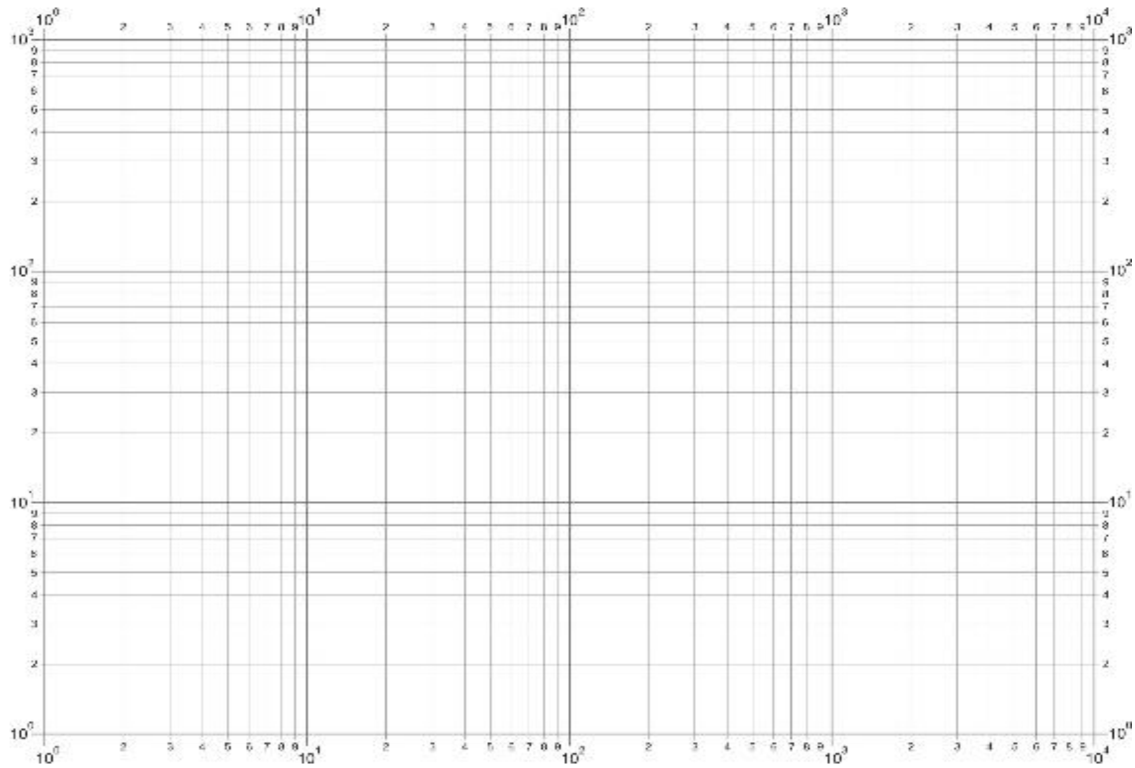


3.1 ábra – A *mm*-papír

Léteznek még *lineáris-logaritmikus* és *logaritmikus-logaritmikus* beosztásos papírok is.



3.2 ábra – A *lin-log* papír



3.3 ábra – A *log-log* papír

A műszaki papírokhoz való hozzáférést, illetve a sajátos vagy személyes igénynek megfelelő testre szabást ma már számos, ingyenesen elérhető program vagy honlap biztosítja.

Tudományos igényű rajzokat, grafikonokat nem szoktak szabad kézzel készíteni, a mérési pontokat pedig nem szabad törtvonalasan összekötni. Ezért az illesztéshez hagyományos és tudományos, azaz különleges formájú vonalzókat, sablonokat kell használni. Ezáltal az illesztett grafikonok valósághű formát kapnak. Természetesen kivételt képez ezen szabály alól a törtvonalas ábrázolást feltételező Bode-diagram készítés.



szögmérő, derékszögű és klasszikus vonalzók

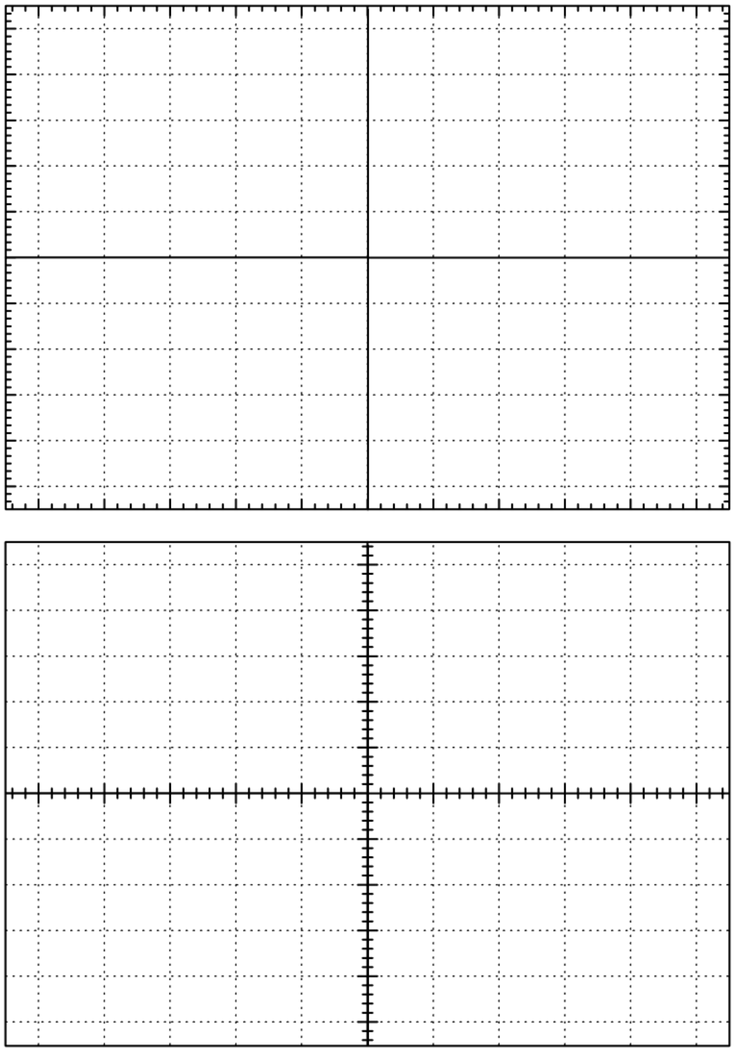
idom (sablon) vonalzók

rádiusz sablon vonalzó

3.4 ábra – Klasszikus és „tudományos” vonalzók

Számos laboratóriumi gyakorlat vagy mérés azt is feltételezi, hogy oszcilloszkóp segítségével jelalakot figyeljünk meg és esetleg valamilyen módon elmentsük, rögzítsünk azt.

Ha az oszcilloszkóp nem teszi lehetővé a számítógépre vagy valamilyen más adathordozóra történő mentéseket, akkor célszerű megfigyelni és lejegyezni az oszcilloszkóp függőleges és vízszintes csatornáinak érzékenységét, azaz azt, hogy 1 képernyőbeosztásnak (vonalkának) hány V (vagy mV) felel meg, a jelalakot pedig méretarányosan kell majd megrajzolni műszaki papírra. Szükség esetén a jelalakok mértékarányos megrajzolását megkönnyítheti, ha vízszintes mozgatással olyan helyzetbe hozzuk azt a kijelzőn, ahol már létezik valamilyen viszonyítási pont. Ugyanakkor, az időállandó megfelelő kiválasztása növelheti az áttekinthetőséget és elősegítheti az egyszerre megjelenített jelek összehasonlítását. A megjelenített jelalak könnyedén megrajzolható a már bemutatott műszaki papírok közül a milliméteres papíron, vagy erre a célra előre elkészített és kinyomtatott oszcilloszkóp kijelzőn.



3.5 ábra – Az oszcilloszkóp kijelzők és beosztási változataik

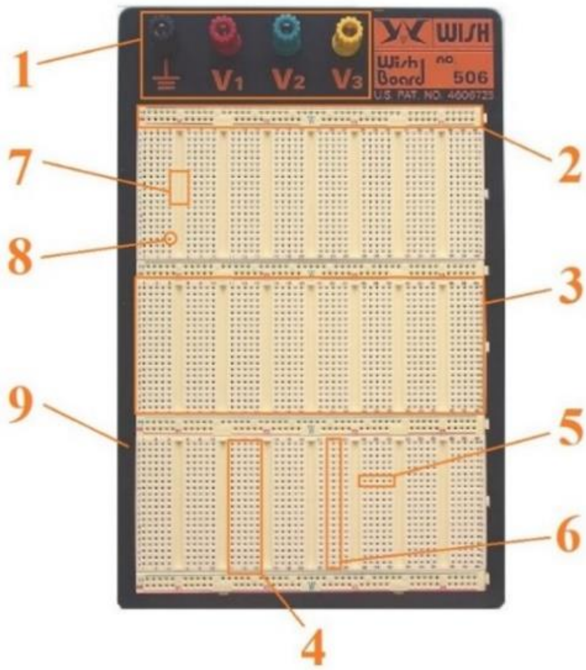
4. A LABORATÓRIUMI ESZKÖZTÁR

Egy laboratóriumi gyakorlat elvégzéséhez szükséges eszköztár (a teljesség igénye nélkül) magába foglalja a továbbiakban felsorolt eszközöket, műszereket, szerszámokat, berendezéseket és tárgyakat – közülük mindig csak azokat használjuk amelyeket az adott dolgozat előír! A továbbiakban röviden ismertetjük az eszköztár legfontosabb elemeit és rendeltetésüket.

4.1 A Wisher WBU 506 próbapanel

A forrasztásmentes próbapanel ideális a forrasztás nélküli gyors áramkörépítéshez, illetve prototípus teszteléshez. Egyik legnagyobb hátrányuk az, hogy nem teszik lehetővé a felületszerelt alkatelemekkel (*SMD*) való munkát. A próbapanelek használatának rendkívüli előnye az, hogy a furatszerelt alkatelemeket (*THD*) nem kell forrasztani és bármikor szétszedhető az áramkör, így az alkatrészeket újra fel lehet használni más célokra is. Ezek a próbapanelek (breadboardok) úgy működnek, hogy a burkolat alatt fém összeköttető sínek vannak elhelyezve. Úgy lehet kapcsolatot létesíteni az egyes alkatrészek között, hogy figyelembe véve a belső felépítést, a megfelelő helyekre be kell illeszteni azok kivezetéseit. A komplexebb áramkörök kivitelezéséhez az alkatelemek összekötését különböző hosszúságú átkötő huzalok (jumperek) biztosítják.

Az egyik legkomplexebb kialakítású próbapanel nagyméretűnek számít (25 *cm* x 16 *cm* x 3,1 *cm*), felületén összesen 2540 illesztőponttal rendelkezik és lehetőséget nyújt a tápfeszültségek csatlakoztatására is.



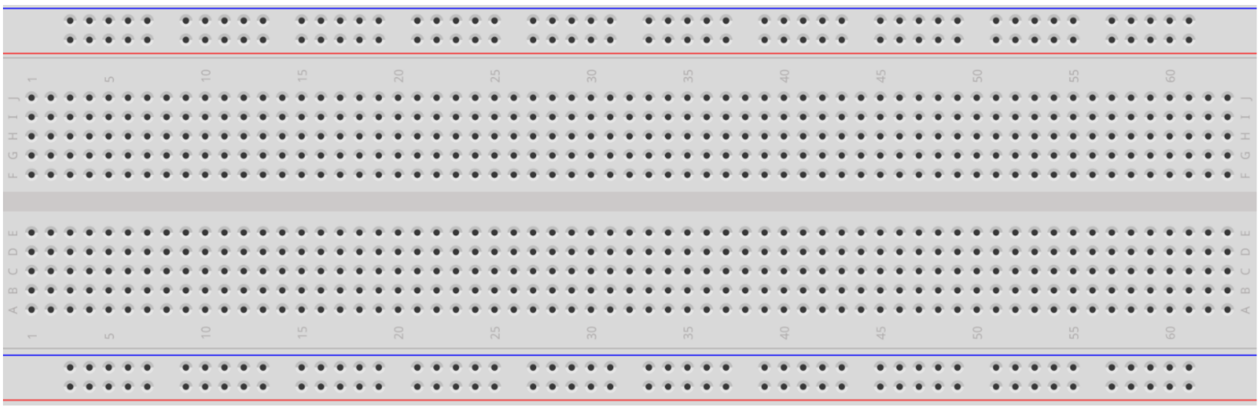
4.1 ábra – A Wisher WBU 506 próbapanel

A Wisher WBU 506 próbapanel főbb részei:

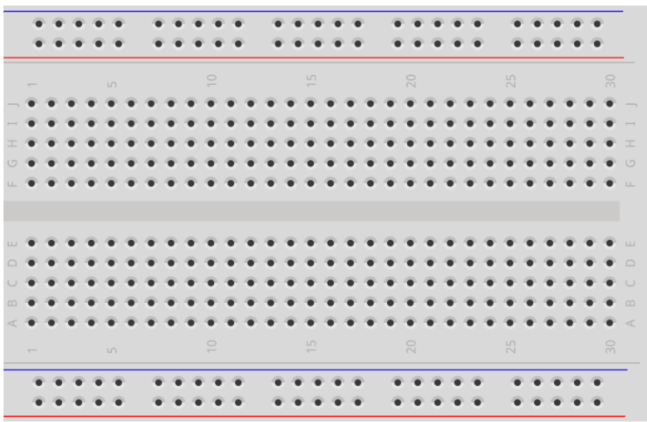
1 = szigetelt banánhüvelyek: külső tápfeszültség (V_1, V_2 és V_3) és referenciapont (⏚, azaz $0\ V$);
2 = tápfeszültség csatlakozópontok a panelen: KÉK vonal 4 sorban (9 darab, egyenként 5 illesztőpontos egység) és PIROS vonal 4 sorban (8 darab, 5 illesztőpontos egység);
3 = a munkafelület önálló egysége (3 darab, 1 egység = 8 alegység);
4 = egy alegység (5 oszlop és 20 sor illesztőpont);
5 = egy sor az alegységben (5 rövidre zárt vízszintes illesztőpont);
6 = egy oszlop az alegységben (20 önálló függőleges illesztőpont);
7 = két szomszédos alegység közötti elválasztó árokszerű rész (szélessége 7,62 *mm*);
8 = egy illesztőpont (0,8 *mm*-es átmérő és 2,54 *mm*-es ponttávolság);
9 = hordozó fémlap

4.2 Más próbapanelek

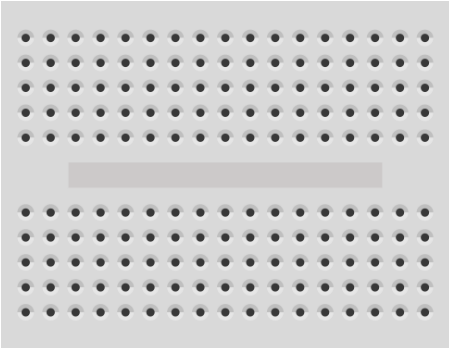
Léteznek sokkal egyszerűbb és kisebb próbapanelek is, amelyek nincsenek hordozó fémlappal vagy tápfeszültség-csatlakozókkal ellátva, de méreteik és piaci áruk miatt nagy népszerűségnek örvendenek. Három ilyen breadboard típus terjed el.



4.2 ábra – A BB 830 „nagy” panel (16,3 *cm* x 5,3 *cm* x 1 *cm* / illesztőpontok száma = 830)



4.2 ábra – A BB 400 „közepes” panel (8,5 *cm* x 5,5 *cm* x 0,97 *cm* / illesztőpontok száma = 400)

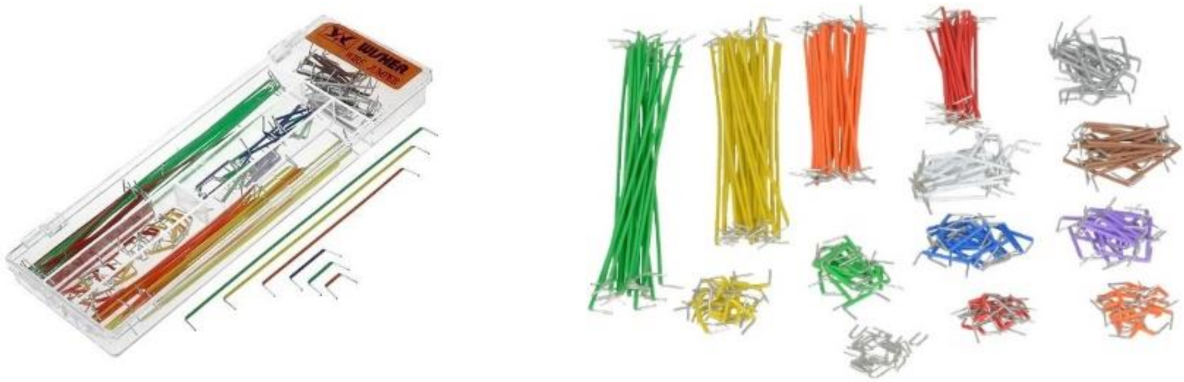


4.3 ábra – A BB 170 „közepes” panel (3,6 *cm* x 4,6 *cm* x 1 *cm* / illesztőpontok száma = 170)

4.3 A WJW 60B, WJW 70B jumperkészletek

A legkomplexebb átkötő huzal készlet a WJW-60B típusú, 350 darab ónozott huzallal. A kisebb panelekhez kapható egyszerűbb, „csak” 140 huzalos készlet is (WJW-70B). A huzalok átmérője 0,644 mm (22AWG), 14 különböző színben vagy méretben. A WJW-60B készlet minden színből 25 darabot tartalmaz, a WJW-70B készlet pedig egyenként 14 darabot.





4.4 ábra – A WJW 60B, WJW 70B átkötő huzal készletek és elemeik

Színek (méret,) illetve hosszúság szerinti eloszlás:

- csupasz (színes szigetelő nélkül) = 2,5 *mm*
- piros (rövid) = 5,1 *mm*
- narancs (rövid) = 7,6 *mm*
- sárga (rövid) = 10,2 *mm*
- zöld (rövid) = 12,7 *mm*
- kék = 15,2 *mm*
- lila = 17,8 *mm*
- szürke = 20,3 *mm*
- fehér = 22,9 *mm*
- barna = 25,4 *mm*
- piros (hosszú) = 50,8 *mm*
- narancs (hosszú) = 76,2 *mm*
- sárga (hosszú) = 101,6 *mm*
- zöld (hosszú) = 127 *mm*

4.4 Dupont kábelkötegek

Ha a helyigény és az esztétika nem jelentenek különösebb elvárást, az átkötő huzalok helyett Dupont kábelek is használhatók. Több vezető eret tartalmazó szalagkábel formájában kerülnek eladásra (jellegzetesen 40 ér). Egy ér hossza 10 cm vagy ennek egész számú többszöröse. Minden egyes ér áramterhelhetősége megközelítőleg 2 A, átmérője pedig 0,510 mm (24AWG). Az ér a 2,54 mm ponttávolságra elhelyezett, 0,8 mm átmérőjű illesztőponthoz való csatlakoztatás végett „anya” és/vagy „apa” típusú Dupont csatlakozóban végződnek.





„anya” végződések



„apa” végződések

4.5 ábra – A Dupont kábelek

4.5 Passzív és aktív elektronikus alkatelemek

Az ismeretanyag gyakorlati elmélyítését segítő áramkörök felépítésére passzív (ellenállások, potenciométerek, kondenzátorok, tekercsek, transzformátorok) és aktív (diódák, bipoláris és térvezérlésű tranzisztorok, műveleti erősítők, időzítők, stabilizátorok, logikai áramkörök) alkatelemekből álló készlet áll a hallgatók rendelkezésére. Ebből a készletből kell kiválogatni, a gyakorlati útmutató alapján, a szükséges hozzávalókat.



4.6 ábra – Passzív és aktív alkatelemek látképe

4.6 Elektronikai egyenes műszerészcsipesz

Az alkatelemek és az átkötő huzalok használatát (kiválasztását és beültetését) könnyíti meg.



4.7 ábra – Egyenes műszerész csipesz

4.7 Elektronikai műszerész (precíziós) csavarhúzó

A változtatható értékű alkatelemek hangolására használandó (egyenes pengéjű, lapos vagy kereszt végződésű).



4.8 ábra – Elektronikai műszerész csavarhúzó

4.8 Laposfogó és univerzális krimpelő fogó

A hosszabb pofákkal ellátott hegyes csőrű laposfogó az átkötő huzalok vagy az alkatelemek kivezetéseinek egyenesítését, hajlítását, vágásos méretezését teszi lehetővé, az univerzális saruzó fogó (krimpelő) és kábelcsupaszító (blankoló), alkalmas a vezetékek elvágására és a szigetelt vagy szigeteletlen kábelsaruk préselését segíti elő.



4.9 ábra – Laposfogó



4.10 ábra – Krimpelő-blankoló fogó

4.9 Forrasztóállomás (PENSOL SL-30E-N) és kellékei

A forrasztóállomásokat a furatgalvanizált elektronikai alkatelemek be- és kiforrasztására használják. Általában egy állítható hőmérsékletű forrasztóheggyel ellátott pákát, tartót, analóg forgó kapcsolót, hőmérsékletszabályozó egységet és kijelzőt is tartalmaz.



4.11 ábra – PENSOL SL-30E-N forrasztóállomás

Egy forrasztóállomás elengedhetetlen tartozékai:


4.12 ábra – Ónszippantó



4.13 ábra – Kollofónium (fenyőgyanta)


4.14 ábra – Folyasztószer


4.15 ábra – Ólomtartalmú forrasztó huzal



4.16 ábra – Ólommentes forrasztó paszta


4.17 ábra – Hegytisztító szivacs



4.18 ábra – Kiforrasztó rézszalag

4.10 Digitális mérőműszerek, mérőhidak és teszterek

A digitális multiméter több méréshatárú feszültségmérőt, árammérőt és ellenállásmérőt tartalmazhat egyszerre. Előnye az analóg műszerekkel szemben a jobb érzékenység, a nagyobb pontosság, mérési sebesség, illetve bemeneti impedancia, a szélesebb mérési frekvenciatartomány és az egyértelmű leolvashatóság, a mért érték esetleges tárolhatósága és az automatizálható működtetés.

A digitális „mérőmű” mindig feszültséget mér, és az eredményt digitális kijelzőn jeleníti meg. A belső mérőelektronikát úgy készítik, hogy bemenő ellenállása igen nagy legyen, azaz a mérendő áramkört minél kisebb mértékben terhelje. A működtetéshez szükséges energiát minden esetben külön feszültségforrás (9 V-os telep) szolgáltatja.

A digitális jelfeldolgozásnak köszönhetően a mai korszerű mérőműszerek a feszültség, az áramerősség és a rezisztencia mellett más mennyiségek mérésére is alkalmasak (frekvencia, dióda, tranzisztorok áramerősítési tényezője, hőmérséklet, kapacitás, induktivitás, szakadásvizsgáló, stb.).

Nagy népszerűségnek örvendenek a mikrokontroller alapú egyszerű teszterek amelyek gyors névleges értékmérést és kivezetés azonosítást tesznek lehetővé.

Az **Uni-t UT132** multiméter kezelőszervei:



4.19 ábra – Megvilágítható 3,5 digites folyadékkristályos kijelző, a mérési eredmények (megfelelő helyiérték, tizedesvessző, előjel, mértékegység) kijelzésére szolgál



4.20 ábra – Forgatható kiválasztó kapcsoló, amely a mérési funkció (mérni kívánt mennyiség) és a megfelelő méréshatár kiválasztását vagy átváltását teszi lehetővé



4.21 ábra – K típusú hőelem, amely a hőmérsékletmérés érzékelője (egy speciális csatlakozó aljzat révén csatlakozik a multiméterhez, ez más tartozékok használatát is segíti)



4.22 ábra – Mérőzsinór pár (1 piros, 1 fekete), amelyet biztonsági mérőfejek és mérőkábelek együttese alkot, a készlet a 4 *mm*-es (biztonsági banán) csatlakozós mérőkábelt (hossza kb. 900 *mm*) ergonomikusan kialakított fogó részt, CAT IV 1000 *V* védőkupakos szilikonos puha mérővezetékeket tartalmaz, a mérőtű vastagsága 2 *mm*

Az adapter csatlakozó aljzat a felületszerelt eszközök tesztelésére (tranzisztorok áramerősítési tényezője) és a nem banándugós csatlakozók átalakítására szolgál. Adapter nélkül használva megfigyelhető a csatlakozópontok mellé feltűntetett betük és piktogrammok – ezek megfelelői a forgó/kiválasztó kapcsoló segítségével beállítható helyzetek, jellegzetesen a közös terminál fekete színű gyűrűvel van ellátva (ide kerül a fekete mérőzsinór), a piros színű mérőkábel a szabadon maradt három piros gyűrűs terminál egyikébe kerül, annak függvényében, hogy mit kell mérni (egy közös terminál – feszültség, ellenállás, tranzisztor, dióda, folytonosság mérésére; a kis áramok mérésére szolgáló terminál – ez max. 200 *mA* és egy külön terminál a nagy áramok mérésére – ez max. 20 *A*)

A hallgatói laboratórium eszköztárában, kisebb számban leltáron található más multiméterek, mérőhidak és mikrokontroller alapú teszterek a következők:



4.23 ábra
Az *27XT* multiméter



4.24 ábra
A *MAS343* multiméter



4.25 ábra
Az *M7904* multiméter



4.26 ábra
Az *UT603LCR* mérőhíd

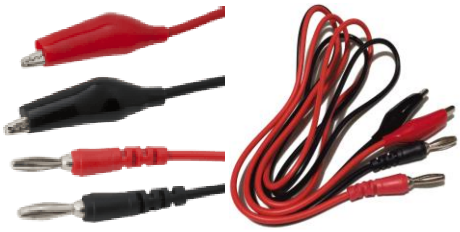


4.27 ábra
Az *LCR-T4* teszter

Elvi felépítésük és működésük hasonló a bemutatotthoz. Kivételt képez az Atmel cég Atmega328 mikrovezérlőjén alapuló LCR-T4 alkatelem-teszter. Ez automatikusan felismeri a legtöbb alkatelemet típusa szerint (ellenállás, kondenzátor, tekercs, dióda, tranzisztor stb.) és megmér, illetve kijelenít néhány igen hasznos információt: a kivezetések elrendezését és sorrendjét, a jellemző mennyiség névleges értéket és annak mértékegységét, a működőképességet (meghibásodott alkatelem esetén hibakódot mutat ki), nem utolsó sorban pedig kirajzolja az alkatelem áramköri szimbólumát (rajzjelét) is.

4.11 Banándugós, krokodilcsipeszes műszerzsinórok

A próbapanel tápegységpontjai és a feszültségforrás közötti kapcsolat megvalósítására szolgálnak (különböző hosszúságokban, színekben, végződésekkel és vezetékvastagsággal). Ugyanakkor használhatóak a digitális multiméterek mérőzsinórjai helyett is.



4.28 ábra – Mérőzsinórok és végződéseik

4.12 Aranyozott mérőtüskék

A digitális multiméter mérőfejei, illetve az oszcilloszkóp vagy jelgenerátor és a próbapanel mérőpontjai közötti jobb csatlakozást vagy érintkezést segítik elő.



4.29 ábra – Mérőtüskék

4.13 Shenzen MASTECH HY3003S-2 feszültség- és áramforrás (labortáp)

A legtöbb elektronikus készülék egyenfeszültségű tápáramellátást igényel. Nagyobb teljesítmények esetén ez nem valósítható meg hatékonyan akkumulátorok vagy elemek felhasználásával, ezért úgynevezett egyenáramú tápegységeket fejlesztettek ki, amelyek nem vegyi energia átalakításával biztosítják az elektromos energiaellátást, hanem a hálózati váltakozoáramú energiát használják fel. A tápegységek, és ezek egy sajátos családja, a labortápok az elektronikus áramkörök, berendezések megfelelő működéséhez szükséges egyenáramú elektromos energiát biztosítják. Felépítésüket és jellemzőiket az energiaellátást igénylő berendezés tulajdonságai és sajátosságai határozzák meg. Az egyenfeszültséget a hálózati feszültség megfelelő transzformálásával és egyenirányításával állítják elő, de ez egy stabilizálatlan egyenfeszültség. Az áramkörök jelentős része csak akkor képes megfelelően működni, ha a tápfeszültség, vagy a tápáram állandó. Ehhez a stabilizálatlan tápegység kimenetére egy stabilizátor áramkört csatlakoztatnak és így stabil tápegységet hoznak létre.

A stabilizált tápegység legfontosabb részegységei:

- a hálózati transzformátor (a hálózati váltakozó feszültséget, 230 *V* / 50 *Hz*, az egyenirányító számára elfogadható értékre csökkenti)
- a hálózati egyenirányító (a transzformátor által szolgáltatott váltakozó feszültséget egyenirányítja)
- a hálózati szűrő áramkör (az egyenirányított feszültség ingadozásainak, lüktetésének csökkentésére és a váltakozó áramú összetevők kiszűrésére)
- a hálózati stabilizátor (feladata a kimeneti feszültség vagy áram stabil értéken tartása)



4.30 ábra – Be- és kikapcsológomb

A be- és kikapcsológomb a tápforrás működésbe hozatalát, illetve annak kikapcsolását teszi lehetővé (230 *V* földelt dugóval és C14 csatlakozó aljzattal ellátott 3 pólusú hálózati tápkábelt igényel), a működést az állandó áram (*CC*, azaz *constant current* angol kifejezés rövidítése) világítódiódák piros fénye jelzi.



4.31 ábra – Üzemmódjelző világító diódák

Két-két piros színű világítódióda látja el az üzemmódjelzés (állandó tápáramerősség vagy állandó tápfeszültség szolgáltatását) feladatát: ha az állandó tápáramot (*CC*) jelző piros LED világít, akkor a tápforrás a kimenetén szolgáltatott feszültség róvására állandó áramerősségű egyenáramot szolgáltat, anélkül, hogy a mellette levő csavarható gombbal beállított maximális áramot meghaladja, ha az állandó tápfeszültséget (*CV*, azaz *constant voltage* angol kifejezés rövidítése) jelző piros LED világít, akkor a tápforrás a kimeneten állandó értékű egyenfeszültséget szolgáltat a kimeneti áram áramerősségének róvására (ha valamilyen oknál fogva, olyan helyzet alakúl ki, hogy a felvett áram áramerősség nagyobb kellene legyen, mint az előre beállított maximum érték, akkor az adott kimeneti csatornán a tápegység átvált *CC* üzemmódba és elkezdi csökkenteni a feszültségét.



4.32 ábra – Állandó egyenfeszültségű kimenet

A labortáp állandó egyenfeszültséget szolgáltató kimenete a digitális elektronikához szükséges (nem állítható, nem szabályozható és földfüggetlen) 5 *V*-os feszültséget állítja elő. Ez egy különálló, kijelző nélküli feszültségforrás, PIROS és FEKETE terminálokkal (a 4 *mm*-es banándugók számára), a PIROS a „+” (magasabb potenciál), a FEKETE a „–” (alacsonyabb potenciál).



4.33 ábra – Szabályozható egyenfeszültséget szolgáltató kimenetek

A labortáp dupla, azaz két szabályozható egységet tartalmaz, az együttes használatnál a jobboldali a MESTER (MASTER, vezérlő), a másik pedig a SZOLGA (SLAVE, nem vezérlehető) szerepet tölti be.

Az egyenfeszültséget szolgáltató kimenetek a 0 *V* és 30 *V* közötti értéktartományban stabilizált egyenfeszültséget biztosítanak, amennyiben a feszültségforrás üzemmódban történik a működés. Amennyiben az eszköz áramforrásként működik, akkor állandó áramerősségű áramot fog szolgáltatni a 0 és 3 *A* közötti intervallumban.

Mindkét esetben a szabályozás folytonosan történik, csavarható gombok segítségével, a beállított értéket analóg kijelzők mutatják (a pontos értéket mindig célszerű digitális multiméterrel lemérni!). A csatlakozást PIROS / ZÖLD / FEKETE terminálok biztosítják (a 4 *mm*-es banándugók számára), a PIROS a „+” (magasabb potenciál), a ZÖLD: védőföld, a FEKETE: „–” (alacsonyabb potenciál).



4.34 ábra – Üzemmódot kiválasztó nyomógombok

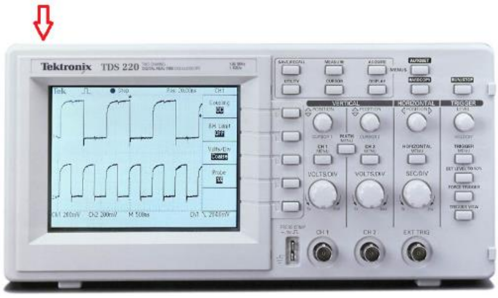
A labortáp üzem kiválasztó nyomógombjai lehetővé teszik a két szabályozható egyenfeszültség-forrás egymáshoz viszonyított működési üzemmódjainak a kiválasztását. Ezek lehetnek az önálló (egymástól független) vagy közös működés (egymással sorosan vagy párhuzamosan csatlakoztatva).

3.14 Tektronix TDS 220 digitális oszcilloszkóp

Az oszcilloszkóp az elektronikai méréstechnika leggyakrabban használt, legsokoldalúbb készüléke. Felfogható úgy mint egy nagyon speciális voltmérő vagy multiméter, de a valóságban ennél sokkal több. Közvetlenül feszültség-idő függvényt vagy fázishelyzetet képes megjeleníteni a kijelzőjén, ezért is a periodikus jelek vizsgálatára legalkalmasabb készülékek. Nagy bemeneti impedanciájuknak köszönhetően a vizsgálandó jelt nem terhelik és gyakorlatilag időkésés nélkül jelenítik meg. A nagy bemeneti impedancia miatt, a voltmérőhöz hasonlóan, a mérendő eszközzel mindig párhuzamosan kell csatlakoztatni őket. Az említett megjelenítő képesség az, ami lényegesen több információ megszerzését teszi lehetővé, mint amennyi például egy akár nagyon jólfelszerelt multiméterrel lehetséges. Az oszcilloszkóppal megjeleníthető, és közvetlen vagy közvetett módon mérhető egyen- és váltakozó feszültség, idő és időkülönbség, fázis és fáziskülönbség, frekvencia. Ugyanakkor az oszcilloszkópos vizsgálatok lehetőséget nyújtanak a jelalak torzulásának megfigyelésére, a jel egyen- és váltóáramú komponensének mérésére, a gerjedés és a felharmonikusok jelenlétének láthatóvá tételére. Többcsatornás készülékkel lehetséges több, általában kettő vagy négy időfüggvény egyidejű vizsgálata és összehasonlítása.

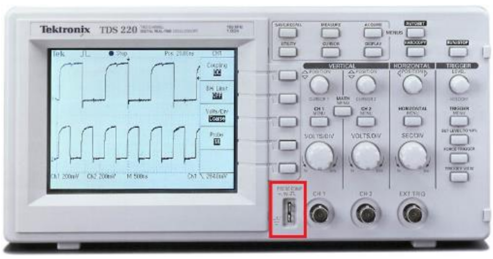
Az oszcilloszkópoknak két nagy csoportjuk van, megkülönböztethetünk analóg és a digitális oszcilloszkópot. A régebbi koncepciójú analóg oszcilloszkópok elsősorban csak megfigyelésre, a periodikus jelek megjelenítésére alkalmasak, de használhatók igen egyszerű és kezdetlege mérések elvégzésére is. Memóriájuk és analóg-digitális átalakítójuk jellemzően nincs.

A digitális oszcilloszkópokkal a jelalakot nemcsak megfigyelni, hanem regisztrálni, tárolni is lehet, mert a műszer igen gyors analóg-digitális konverterrel (*ADC*) és hozzá tartózó memóriával rendelkezik. A digitális oszcilloszkópok előnye, hogy egyszeri (tehát nem periodikus) jelgalakok rögzítésére is alkalmas. A digitális technikából adódó különös lehetőség, hogy mivel az eredmény számok formájában áll rendelkezésre, azzal matematikai műveletek is végezhetők, és bizonyos értékek (pl. csúcsérték, idő stb.) a memóriából kiolvashatók.



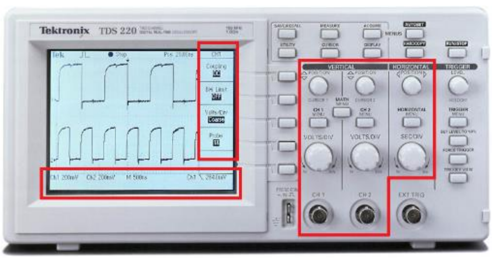
4.35 ábra – Be- és kikapcsológomb

A készülék felső felén található be- és kikapcsológomb az oszcilloszkóp működésbe hozatalát, illetve annak kikapcsolását teszi lehetővé (230 *V* földelt dugóval és C14 csatlakozó aljzattal ellátott 3 pólusú hálózati tápkábelt igényel).



4.36 ábra – A mérőfej kalibráló kimenet

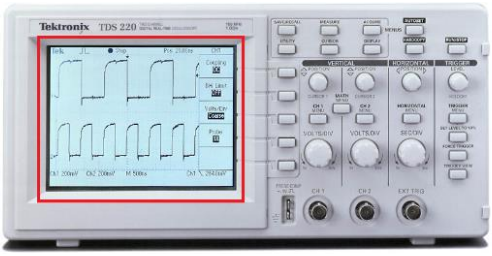
A mérőfej funkcionalitását ellenőrző és kalibráló kimenet biztosítja a mérőfejek helyes működésének ellenőrzését és a beállításhoz szükséges referencia négyszögjelt.



4.37 ábra – Bemeneti csatornák és a vízszintes eltérítés kezelőszervei

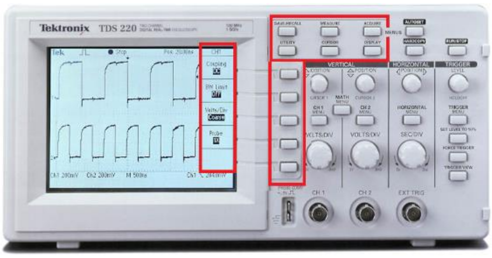
A bemeneti csatornák és a vízszintes eltérítés kezelőszervei az oszcilloszkóp előlapjának központi részén kerültek elhelyezésre. Itt található a két bementi csatorna (CH1, CH2) BNC csatlakozópontjai (BNC), a függőleges (feszültség) és vízszintes (idő/frekvencia) eltérítés kezelőszervei (érzékenységet vagy vízszintes mozgatást végző forgógombok) és az időállandót

biztosító fűrészjel generátor periódusidejét állító fokozatkapcsoló. A 4.37 ábra szemlélteti a kezelőszerveknek megfelelő megjelenítési területeket az oszcilloszkóp LCD kijelzőjén.



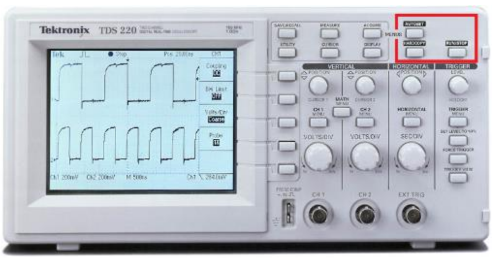
4.38 ábra – Monokróm LCD kijelző

Az oszcilloszkóp egy monokróm LCD kijelzővel rendelkezik. Ez a vizsgált jelalak megjelenítésére szolgáló rész, tartalmazza a mérések eredményeit és bizonyos állítási lehetőségek menüpontjait is.



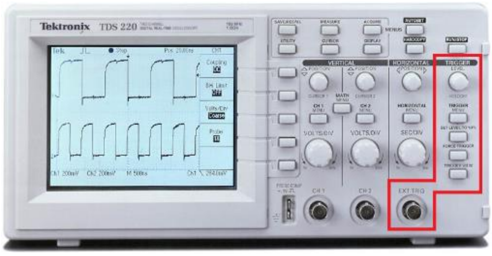
4.39 ábra – Menügombok és softkey billentyűk

Az oszcilloszkóp menügombjai a készülék vezérlését teszik lehetővé, az elérhető funkciók: SAVE / RECALL (a memóriába mentés és a mentett információ előhívása), MEASURE (a mérési folyamat elindítása és az eredmény kijelzése), ACQUIRE (adatgyűjtés módjának és az átlagolás mértékének a beállítása) DISPLAY (a kijelző működésével kapcsolatos beállítások: fényesség, élesség, adatpont, megjelenítési formátum), CURSOR (az időnek megfelelő vízszintes és a feszültségnek megfelelő függőleges mérővonalak, azaz kurzorok megjelenítése és beállítása), UTILITY (az oszcilloszkóp kezelőprogramját indítja, itt tekinthető meg a beállítások összefoglalója, vagy az esetleges működési hibakódok, itt indítható az önkalibrációs folyamat vagy beállítható az operációs rendszer nyelve). A softkey billentyűk olyan változó funkciójú billentyűk, amelyek a menüsávon a menügombokkal megjelenített lehetőségek kiválasztását biztosítják.



4.40 ábra – A speciális funkciók gombjai

Az oszcilloszkóp rendelkezik különlegesebb funkciókkal is. Az ezeknek megfelelő gombok: AUTOSET (önállító, a bemenetekre érkező jelek jellemzői szerint kiválasztja a legegyszerűbb és legmegfelelőbb beállításokat és biztosítja azok megjelenítését a kijelzőn). HARDCOPY (a kijelző megjelenítését kinyomtatja amennyiben a készülék rendelkezik a megfelelő csatlakozó modullal), RUN/STOP (megállítja és újraindítja az adatgyűjtés folyamatát).



4.41 ábra – Trigger (indító) kezelőszervek

A periodikus jelek esetén szükséges az oszcilloszkóp ernyőjén, az újból és újból felrajzolt, futónak látszó jelalak megállítása, stabil állókép biztosítása, ez az időeltérítő fűrészfogjel és a vizsgálandó jel ugyanabban az időpillanatban történő elindításával érhető el (a gyári beállításokon túl, lehet belső vagy külső forrást, módot és szintet is választani), amit az oszcilloszkóp trigger (indító) kezelőszervei segítségével tudunk elérni.

4.15 Tti TG 120 jelgenerátor

Az elektronikai méréstechnikában alkalmazott jel- vagy függvénygenerátorok olyan jelforrások, amelyek periodikus időfüggvényeket állítanak elő villamos feszültség formájában. Pontosabban fogalmazva jelszintű, feszültségalakokat állítanak elő, azaz a kimeneti osztó csak akkora impedanciával terhelhető, amely még nem befolyásolja jelentősen az osztó áramát. A szolgáltatott jel legfontosabb jellemzői a *hullámforma* (jelalak: *DC* – azaz egyenáram, szinusz, háromszög, négyszög, fűrészfog, impulzus) az *amplitúdó* ($0 \div 20$ *V*, csúcstól-csúcsig értendő), a *frekvencia* ($0 \div 20$ *MHz*) és a *szinteltolás* („DC offset”, a jel max. ± 10 *V*-ig történő elcsúsztatása).



4.42 ábra – Üzemmód kijelző LED

A be- és kikapcsológomb a jelgenerátor hátlapján található, az eszköz működésbe hozatalát, illetve annak kikapcsolását teszi lehetővé (230 *V* földelt dugóval és C14 csatlakozó aljzattal ellátott 3 pólusú hálózati tápkábelt igényel), a működést az előlapon elhelyezett világítódióda piros színe jelzi.



4.43 ábra – Jelalak kiválasztására szolgáló forgógomb

A jelgenerátor által előállítható hullámformák (szinusz, háromszög, négyszög, DC) kiválasztására egy négy-állású forgó kapcsolót használnak.



4.44 ábra – Frekvenciaállító forgógombok

A jelgenerátor által előállított jel frekvenciáját két forgógomb segítségével állíthatjuk be. Az egyikkel a főértéket tudjuk folytonosan változtatni 0,2 és 2,0 között, a másik pedig a 8 dekádot átfogó (1 *Hz*, 10 *Hz*, 100 *Hz*, 1 *kHz*, 10 *kHz*, 100 *kHz*, 1 *MHz*, 10 *MHz*) szorzó meghatározására szolgál.



4.45 ábra – Jel amplitúdót állító forgógomb

A generált jelszint 0 V és 20 V közötti beállítására szolgáló forgógomb a készülék elólapján található. Ez érték csúcstól-csúcsig értendő!



4.46 ábra – Jelkimenet

Az 50 Ω-os kimeneti impedanciájú jelkimenetet egy BNC csatlakozó biztosítja, emellett található a kimenet 20 *dB*-es jelcsillapításának kapcsolói (2 ×10-es feszültségosztók), amelyeket a jelszint csillapítására tudunk használni.



4.47 ábra – Jelszimmetria állító

A jelalak szimmetriáját befolyásoló állításokért felelős a jelszimmetria állító forgógomb, amely lehetővé teszi a különböző aktív ciklus idejű impulzusok és a fűrészfog jel előállítását.



4.48 ábra – Ofszet forgógomb

Az ofszet forgógomb egyenfeszültségű komponenst ad a jelszinthez, eltolva azt egy adott irányba.



4.49 ábra – TTL/CMOS jelkimenet

A készülék előlapjának középső részén található a jellel azonos fázisú TTL vagy CMOS szabványnak megfelelő jel BNC csatlakozós kimenete (max. 4 egységet képes egyszerre meghajtani). A frekvenciapásztázó egység külső feszültségbemenetét (max. $\pm$ 10 *V*) a SWEEP IN mutatja.



4.50 ábra – SWEEP bemenet

4.16 Tektronix P2100, Hantek PP 80 és Mi031 Pico mérőszondák

A mérőszondák jellemzően a vizsgált áramkör mérendő pontjain található jeleket alakhűen juttatják el az oszcilloszkóp bemeneteire vagy egy jelgenerátor által keltett, időben változó jel alakhű csatlakoztatását és bevitelét oldják meg.

A *Tektronix* és a *Hantek* mérőszondák mérőfeje védőkupakos, kampós végű mérőfogóval és rugós mérőheggyel van ellátva, csillapításuk állítható (1:1 vagy 10:1 leosztású), kis krokodilcsipeszben végződő földelő vezetékkel ellátott kiskapacitású árnyékolt (koaxiális) vezetékkel (50 Ω, BNC csatlakozó, 120 cm-es hossz) rendelkeznek, a maximális megengedett bemeneti feszültségük 600 V, a bemeneti impedancia 10 $M\Omega$ / 18,5 pF – 22,5 pF (10:1), 1 $M\Omega$ / 80 pF – 115 pF (1:1), a felső határfrekvencia $\leq 4MHz$ (1:1), $\leq 60MHz$ (10:1). A *Pico* mérőszondák csillapítása nem állítható, kiskapacitású árnyékolt (koaxiális) vezetékük 50 vagy 75 Ω-os és BNC csatlakozóban végződik, a másik végen egy kábelátalakítóból 2 krokodilcsipeszben végződő szigetelt vezető indul ki, a szonda teljes hossza 135 mm.



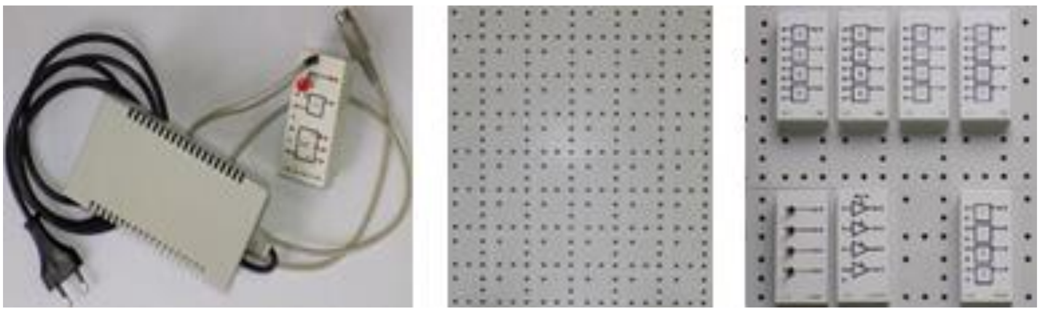
4.51 ábra – Tektronix P2100, Hantek PP 80 mérőszondák



4.52 ábra – Pico mérőszonda

4.17 Leybold Didactic munkapanel, tápegység és digitális egységei

A Leybold Didactic szemléltető munkalap és csatlakozói digitális elektronika gyakorlatok szemléltetéséhez és vizsgálatához használható.



4.53 ábra – A Leybold Didactic próbapanel és tartozékai (táp, logikai egységek)

5. FONTOSABB ELEKTRONIKAI RAJZJELEK

Az *elektronikai rajzjelek* egyszerű, könnyen felismerhető és megkülönböztethető szimbolikus rajzok, amelyek az áramköri elem típusára utalnak. Az elektronikus áramkörök ábrázolása szabványos rajzjeleket használva, úgynevezett kapcsolási rajz segítségével történik. A kapcsolási rajz az áramkört megvalósító áramköri alkatelemek rajzjeléből és azonosítójából (tervjeléből), valamint az ezeket összekötő huzalozásból és csomópontokból áll (a rajz elkészítésénél a hatályos szabványokat figyelembe kell venni, ez fogja biztosítani a rajz egyértelmű értelmezhetőségét). A rajzjel mellett szerepelnie kell még az azonosítást szolgáló tervjelnek, illetve az adott elemre jellemző értékmegjelölésnek is. A tervjel egy karakteres azonosító, amely segítségével az egyforma rajzjelű elemeket tudjuk megkülönböztetni, illetve a kapcsolási rajzon gyorsan megkeresni. A tervjel nem tetszőleges, az első karakter mindig egy betű, amely utal az alkatrész fajtájára, a második többnyire egy szám, vagy indexelt karakter, amely segítségével az egyforma alkatrészeket különböztetjük meg (Pld.: R_1 az 1-es sorszámú ellenállást jelöli, *1k* pedig az értékét, azaz 1 $k\Omega$-ot).

A gyakorlatban több szabvány is használatos egyszerre. Ezek közül a legfontosabbak:

- IEC = International Standards and Conformity Assessment for all electrical, electronic and related technologies (*EU*)
- BS 3939 = Graphical symbols for electrical power, telecommunications and electronics diagrams (*UK*)
- DIN = Deutsches Institut für Normung (*D*)
- ANSI = American National Standards Institute (*USA*)
- IEEE = Institute of Electrical and Electronics Engineers (*USA*)
- MIL-STD = United States Military Standard (*USA*)

Az alábbiakban szemléltetni fogjuk az „*Elektronika laboratóriumi gyakorlatok*” köteteiben leggyakrabban felhasznált rajzjeleket és azok különböző, bevált változatait.

vezeték általános jelölése (vagy rövidzár)



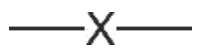
vezetékek összekötés (érintkezés) nélküli jelölése és áthidalás



vezetékek összekötés (érintkezés) nélküli jelölése



egymással elektromosan érintkező vezetékek (csomópont) és leágazás

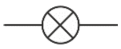

szakadás (megszakítás)


nulla potenciál (a földelés általános jelölése)


dobozhoz csatlakoztatott (földelt doboz)


testelés (a nulla potenciálú pont jelölése)


közös pont (azonos potenciálú pont)

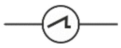

jelzőlámpa

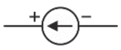


voltmérő (feszültségmérő)

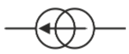


ampermérő (árammérő)


oszcilloszkóp



egyenáramú feszültségforrás

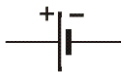

egyenáramú áramforrás


váltakozóáramú feszültségforrás


magasfrekvenciájú váltakozóáramú feszültségforrás



jelgenerátor

 elem / akkumulátorcella

 telep (több elem sorosan csatlakoztatva)

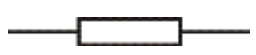
 olvadóbiztosító

 olvadóbiztosító

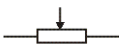
 kapcsoló

 nyomógomb

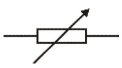
 koaxiális csatlakozó

 ohmikus ellenállás

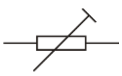
 ohmikus ellenállás

 kézzel változtatható ellenállás (potenciométer)

 kézzel változtatható ellenállás (potenciométer)

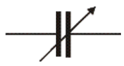
 kézzel változtatható ellenállás (reosztát)

 kézzel változtatható ellenállás (reosztát)

 csavarhúzóval hangolható ellenállás (trimmer)

 csavarhúzóval hangolható ellenállás (trimmer)

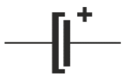
 kondenzátor

 változtatható (állítható) kondenzátor

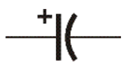
 csavarhúzóval hangolható kondenzátor (trimmer)



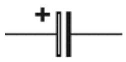
elektrolit kondenzátor



elektrolit kondenzátor



elektrolit kondenzátor



elektrolit kondenzátor

 tekercs

 légmagos tekercs

 vasmagos tekercs

 leágaztatott tekercs

 csavarhúzóval hangolható tekercs

 változtatható tekercs

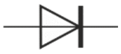

légmagos transzformátor

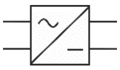

vasmagos transzformátor

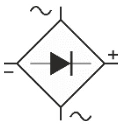

kvarckristály oszcillátor


általános célú (egyenirányító) dióda


általános célú (egyenirányító) dióda


általános célú (egyenirányító) dióda

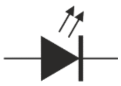

egyenirányító hídkapcsolás

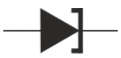

egyenirányító hídkapcsolás


Zener (feszültségstabilizáló) dióda

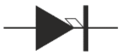

Zener (feszültségstabilizáló) dióda


kapacitásdióda (varicap)


fénykibocsátó dióda (LED)


alagútdióda


Schottky dióda



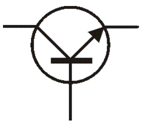
PIN dióda



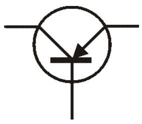
PIN dióda



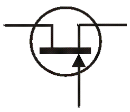
fotódióda



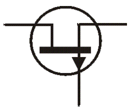
npn típusú bipoláris tranzisztor



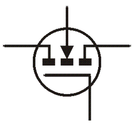
pnp típusú bipoláris tranzisztor



n csatornás záróréteges térvezérlésű tranzisztor



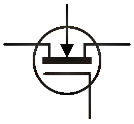
p csatornás záróréteges térvezérlésű tranzisztor



n csatornás növekményes szigetelt kapuelektrodás térvezérlésű tranzisztor



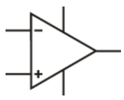
p csatornás növekményes szigetelt kapuelektrodás térvezérlésű tranzisztor



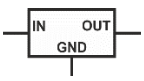
n csatornás kiürítéses szigetelt kapuelektrodás térvezérlésű tranzisztor



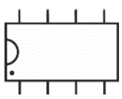
p csatornás kiürítéses szigetelt kapuelektrodás térvezérlésű tranzisztor



műveleti erősítő



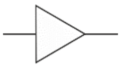
feszültségstabilizátor



8 kivezetéses IC tokozás (DIP-8)



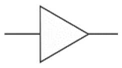
tetszőleges szerepet ellátó áramkör tömbvázlatban



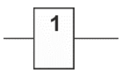
erősítő áramkör tömbvázlatban



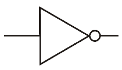
szűrő áramkör tömbvázlatban



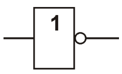
PUFFER kapu



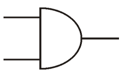
PUFFER kapu



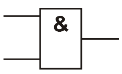
NOT (tagadás, negálás, inverter, NEM) kapu



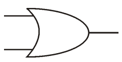
NOT (tagadás, negálás, inverter, NEM) kapu



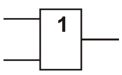
AND (ÉS) kapu



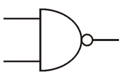
AND (ÉS) kapu



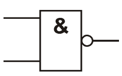
OR (megengedő VAGY) kapu



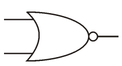
OR (megengedő VAGY) kapu



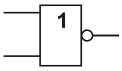
NAND (negált ÉS, tagadott ÉS) kapu



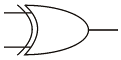
NAND (negált ÉS, tagadott ÉS) kapu



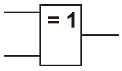
NOR (negált VAGY) kapu



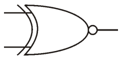
NOR (negált VAGY) kapu



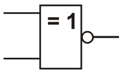
XOR (antivalencia, kizáró VAGY) kapu



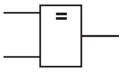
XOR (antivalencia, kizáró VAGY) kapu



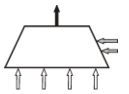
XNOR (ekvivalencia, negált kizáró VAGY) kapu



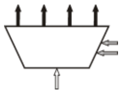
XNOR (ekvivalencia, negált kizáró VAGY) kapu



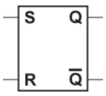
XNOR (ekvivalencia, negált kizáró VAGY) kapu



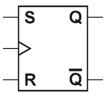
multiplexer (nyalábolό, 4-ből 1)



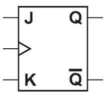
demultiplexer (nyalábosztó, 1-ből 4)



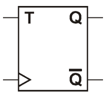
aszinkron SR (SET – RESET) tároló



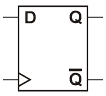
órajel vagy szint vezérelt szinkron SR tároló



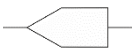
órajel vagy szint vezérelt JK (JAM – KEEP) tároló



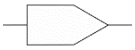
órajel vagy szint vezérelt T (TOGGLE) tároló

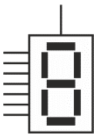


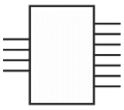
órajel vagy szint vezérelt D (DATA, DELAY) tároló

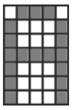


analóg / digitális átalakító (konverter)


digitális / analóg átalakító (konverter)


7 szegmenses LED kijelző


7 szegmenses LED vezérlő (dekóder)


alfanumerikus DOT mátrix kijelző


alfanumerikus szegmenses kijelző

6. PASSZÍV ÁRAMKÖRI ELEMEK

Gyakran előfordul az, hogy bizonyos (egyszerűbbnek látszó) elektronikai feladatokat el lehet látni vagy meg lehet oldani félvezető alapú alkatelemek nélkül is. Ilyen (rész)feladat a jelek leosztása, elválasztása, csatolása vagy szűrése. Passzívnak nevezzük azokat az alkatelemeket amelyeknek helyettesítő képében nem található sem áramgenerátor, sem feszültséggenerátor, csak villamos energiát fogyasztanak (disszipálnak) vagy raktároznak el. Az elektronikai gyakorlatban előforduló három passzív alkatelem az *ellenálás*, a *kondenzátor* és a *tekercs*. Az elektrotechnikában és az elektronikában mindháromnak igen fontos szerep jut.

A kizárólag csak passzív alkatelemeket tartalmazó áramköröket rendszerint előnyben részesítjük a felvezetős megoldásokkal szemben, mivel feladatellátásukhoz nem igényelnek tápfeszültséget, nagy a megbízhatóságuk, kisebb a zajszintjük stb. Ezen belül, ha a feladat megoldható csak ellenállásokkal, akkor nem használnak más alkatelemeket. Ha a feladat ellátásához szükség mutatkozik valamilyen reaktív alkatelemre is, először rendszerint kondenzátoros kivitelezést kell keresni. Mivel sokkal nagyobb a helyigényük és kereskedelmi áruk is, tekercseket csak akkor használnak ha jelenlétük (áramköri hatásuk) tényleg nélkülözhetetlen.

6.1 Az ellenállások

Az ellenállás a leggyakrabban előforduló elektronikai alkatelem. Legfontosabb szerepe az áramerősség szabályozás, vagyis az, hogy jól meghatározott, megfelelő értékű elektromos rezisztenciát biztosítson egy áramkör adott részén, szakaszán. A szabályozás során nem tárol töltést vagy energiát, csak a felvett elektromos teljesítmény egy részét átalakítja hővé és azt sugárzással távolítja el (disszipálja).

Elektromos rezisztenciának (R) nevezzük egy elektromos vezető (ellenállás) két pontjára kapcsolt feszültség (U) és a vezetőn áthaladó áram áramerősségének (I) a hányadosaként értelmezett fizikai mennyiséget:

$$R = \frac{U}{I}$$

melynek SI- mértékegysége az *ohm* (jele az Ω).

Az ellenállásokat lehet sorosan vagy párhuzamosan csatlakoztatni. Soros kapcsolás esetén az eredő rezisztencia az egyes ellenállások rezisztenciájának összege

$$R_{soros} = \sum_{i=1}^{n} R_i$$

míg párhuzamos kapcsolásnál az egyes ellenállások reciprok rezisztenciáinak összege lesz az eredő ellenállás rezisztenciájának a reciproka

$$\frac{1}{R_{párhuzamos}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}$$

A működés közben, az I áramerősségű áram hatására t időtartam alatt disszipált hőmennyiség:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t = U \cdot I \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

A rezisztencia a különböző anyagoknak azon tulajdonságát jellemzi, hogy szerkezetüknek és tulajdonságaiknak megfelelően az elektromos áram áthaladását akadályoztatják. Az elektromos áramot jelentő irányított, rendezett mozgást végző töltéshordozók, a külső villamos tér által végzett munka révén gyorsulnak és energiára tesznek szert, majd kölcsönhatnak (ütköznek) az anyag hőmozgást végző alkotóelemeivel és átadják ennek az energiának egy részét, növelve az anyag belső energiáját, mintegy melegítve azt. Ezért az anyag geometriai méretei és sajátos jellemzői mellett, a rezisztencia függ a hőmérséklettől is, fémeknél majdnem lineárisan, félvezetőknél exponenciális csökkenést vagy növekedést mutatva. Prizmatikus anyagok esetén a rezisztenciára írhatjuk, hogy:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

ahol ρ a fajlagos ellenállás (az l = 1 m hosszú, S = 1 m^2 keresztmetszetű vezető rezisztenciája, adott hőmérsékleten értendő).

A hőmérsékletfüggés jellemzésére bevezetett fizikai mennyiség az α hőmérsékleti-tényező, vagyis a viszonylagos (relatív) ellenállásváltozás 1 ^oC hőmérsékletváltozás hatására:

$$\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT}$$

Az ellenállások alapanyagául szolgálnak a különböző fémek és azok ötvözetei, illetve a szén.

Egy ellenállás legfontosabb jellemzője a *névleges érték* és a *terhelhetőség*. A névleges érték a gyártási technológiából és a méretekből adódó rezisztencia, a terhelhetőség pedig a károsodásmentes hődisszipációval kapcsolatos információ.

Az elektronikai gyakorlatban találkozhatunk olyan ellenállásokkal, amelyek névleges értékét a gyártási folyamat során határozták meg és ezt soha nem változtatják meg a működtetés során

– ezek az úgynevezett *fix* vagy *állandó értékű ellenállás*ok. Sok esetben a megoldandó feladat szükségessé teszi, hogy az ellenállás értéke állítható legyen a működés során – ide tartoznak az úgynevezett *változtatható értékű ellenállás*ok (potenciométerek, reosztátok) és a *hangolható ellenállás*ok. A harmadik ellenállás kategória a *változó ellenállás*ok családja. Ezek ellenállása egy fizikai mennyiség (hő, fény, feszültség, erő stb.) hatására változik meg. Sajátos tulajdonságaik, viselkedésük és alkalmazásaik miatt az elektronikán kívül, a szenzorisztika által lefedett szakterületen szokták őket tárgyalni.

6.1.1 Állandó értékű ellenállások

Rajzjelük szabványfüggő. Az európai használatban elterjedt szabvány szerinti ellenállás-szimbólumot (IEC 60617) és a leggyakrabban előforduló megjelenési formát az alábbi ábrák szemléltetik:


rajzjel


furatszerelt (*THD*)



felületszerelt (*SMD*)

6.1 ábra – Ellenállások rajzjele és jellegzetes megjelenési formája

Az ellenállás, mint alkatelem nem végtelenül pontos. Gyártáskor ezért feltüntetik a névértékét és a névértéktől való megengedett maximális eltérést (értéktűrést), amely gyakorlatilag megszabja az adott alkatelem lehetséges értékeit, az úgynevezett szabványosított értéksort.

A kereskedelemben csak meghatározott névleges értékű és tűrésű ellenállásokat forgalmaznak a 0,01 *Ω* és 10 *MΩ* közötti értéktartományban. Az 1 %-os értéktűrésig nincs számottevő árkülönbség a különböző ellenállássorok között, csak az elvárt pontosság lehet meghatározó szempont. Ma már nem használunk 5 %-osnál nagyobb értéktűrésű ellenállásokat, akkor sem, ha az adott alkalmazás nem igényli a nagy pontosságú rezisztenciaértéket. Az 1 %-nál jobb értéktűréssel bíró alkatelemek ára már akár 2 nagyságrenddel is meghaladhatja az 1 %-os család tagjainak árát, ezért a pontossági elvárások mellett a költségvetési szempontok is fontos szerepet kaphatnak.

Minden szabványosított értéktűréshez egy-egy névleges értéksor tartozik, amelyet E betűvel és a sor tagjainak számával jelölnek (E1, E3, E6, E12, E24, E48, E96 és E192) – ezeket egy külön fejezetben tárgyaljuk.

A gyártás utolsó fázisában a védőbevonatra az ellenállás értékét kódolva nyomtatják fel. A kód lehet egyszerű (számjegyekkel) vagy bonyolultabb (színkód).

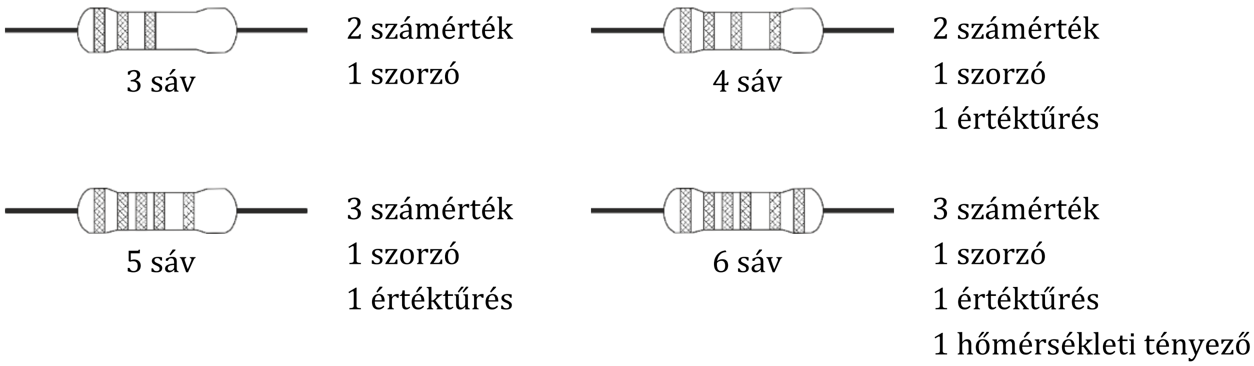
Számkódos vagy bélyegzett rendszer-ben a furatszerelt ellenállás értéksoron belüli értékét számmal, a névleges érték nagyságrendjét betűvel ($R = 10^0$, $k = 10^3$, $M = 10^6$) adják meg. A betűkód mindig a tizedesvessző helyére kerül.

Példa: 3M3 = 3,3 $M\Omega$ 4K7 = 4,7 $k\Omega$
2R2 = 2,2 Ω R22 = 22 Ω
k33 = 0,33 $k\Omega$



6.2 ábra – A 22 Ω-os ellenállás jelölése a számkódos rendszerben

Ma már gyakrabban használt a **színkódos jelölés**. Ennek értelmében az értéket az ellenállástestre festett színes sávok, gyűrűk esetleg ritkábban pontok jelzik. A rendszert azért fejlesztették ki, mert a kisebb méretű ellenállástesteken nem fért már el a könnyedén olvasható nyomtatott számkód és bizonyos betűk és számok összetéveszthetők. A szakmai gyakorlatban megkülönböztetjük a 3, 4, 5 és 6 sávos jelölési rendszert:



6.3 ábra – A sávos-színkódos jelölési rendszer



6.4 ábra – A 22 Ω-os ellenállás jelölése a sávos-színkódos rendszerben (értéktűrés 2 %)

A névleges értéket, a nagyságrendet, az értéktűrést és a hőmérsékleti tényezőt egy-egy jól meghatározott színű gyűrű jelképezi. Az ellenállástest színének is jelentősége van.

A háttérszín (ellenállástest) jelentése rendszerint az ellenállás-anyag természetére is vonatkozik, néhány elterjedt változat:

drapp (szén) **kék** (fém) vagy **zöld** vagy **fehér** (tömör, tömb vagy huzal)

Sajátos esetben a *fehér* vagy *világosszürke* testszínű ellenállások úgynevezett biztosíték-ellenállások (túlterhelés esetén lángmentesen elégnek, megszakadnak), az *egy fekete csík* pedig söntöt jelent, azaz 0 Ω az értékük és az áthidaló, záróvezetékek (jumperek) ellenállás alakú megfelelői.

A terhelhetőség az a legnagyobb elektromos teljesítmény, amely az alkatrészben hővé alakul át úgy, hogy az nem károsodik meg. Az ellenállásoknál a terhelhetőséget kifejező P_d–nek csak szabványosított értékei vannak (elsősorban a geometriai méretek és a védőbevonat anyaga határozza meg). A terhelhetőségnek szabványosított értékei vannak, ezek általában 1 W, 0,5 W, 0,25 W, 0,1 W és 0,05 W. Az 1 W-osnál nagyobb terhelhetőségű ellenállások is léteznek (2 W, 4 W, 6 W, 8 W, 10 W stb.), de az ilyeneket ritkábban használják. Legegyszerűbb az üzemi feszültség (U_{max}) és a névleges érték (R) segítségével kiszámolni:

$$P_d = \frac{U_{max}^2}{R}$$

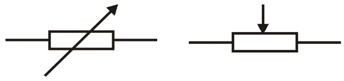
Méretezésnél az üzemi feszültség értékét az adatlapból vesszük (az a megengedett maximális feszültség, amit az ellenállás még megbír) és kiszámoljuk az ellenállás értékének segítségével a teljesítmény értékét. Ezt mindig a legközelebbi szabványos értékhez kell kerekíteni (a lehetséges következő nagyobbhoz)! A megadott terhelhetőség ideális hűtési körülményekre vonatkozik, a gyakorlatban célszerű annak 10 %-án dolgozni!

A felületszerelt (*SMD*) ellenállások téglalap alakúak és a két végükön két fémezett érintkező van elhelyezve. Terhelhetőségük a méretekből és az abból származó jelölőkódból következik, értékmegadásuk pedig a bélyegzett rendszerű. Minden felületszerelt ellenállás értéke 3 vagy 4 számból álló kód formájában van rábélyegezve az eszközre. Szerepelhet benne az R betű is, de nem kötelező. A 3 számjegyű jelölés esetén az első két számjegy az ellenállás értéke, a harmadik pedig a nullák száma utána, az eredmény Ω-ban van kifejezve. Ha a harmadik helyen az R betű van akkor az ellenállás értékét a 2 számjegy adja és Ω-ban fejezzük ki. A 10 Ω-nál kisebb értékek esetén a tizedeshely értékét jelöli az R betű. A 4 számjegyű jelölésnél az első 3 számjegy fogja jelölni az értéket, a negyedik pedig a nullák számát adja meg.

Példa: 0R47 -es kód = 0,47 Ω — 334 -as kód = $33 \cdot 10^4$ Ω = 330 $k\Omega$
680 -as kód = 68 Ω — 1000 -es kód = $100 \cdot 10^0$ Ω = 100 Ω
22R -es kód = 22 Ω — 5621 -es kód = $562 \cdot 10^1$ Ω = 5,62 $k\Omega$

6.1.2 Változtatható értékű ellenállások

A változtatható értékű ellenállások vagy potenciométerek ellenállása nagy intervallumban módosítható ($M\Omega$-ig), egy lineáris vagy logaritmikus görbe alapján. Rajzjele típus és szabványfüggő. Az európai szabvány szerinti ellenállás-szimbólumon egy nyíl jelképezi a változtathatóságot:

rajzjel 

6.5 ábra – Változtatható értékű ellenállások rajzjele

A leggyakrabban előforduló furatszerelt megjelenési formát az alábbi ábrák szemléltetik:

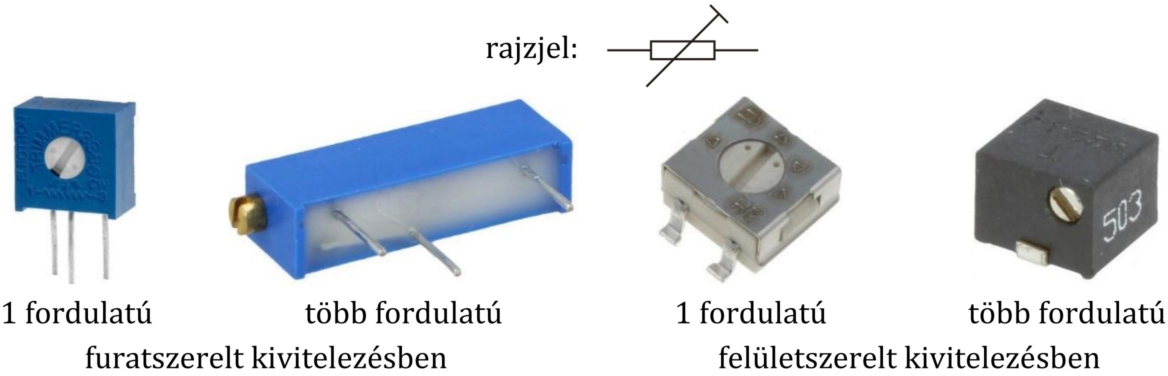


1 fordulatú　　　　　több fordulatú　　　　　toló (csúszó)

6.6 ábra – Változtatható értékű ellenállások jellegzetes megjelenési formái

Három kivezetéssel rendelkeznek (2 felcserélhető, szimmetrikus vég, a harmadik a mozgatható csúszka), funkciójukat tekintve általában rezisztív feszültségosztók, az eszközök vagy műszerek előlapjára (vagy valamilyen nagyon hozzáférhető helyre) kerülnek és a működés közben is változtathatók. A két szimmetrikus kivezetés között egy ellenálláspálya található, a harmadik kivezetés pedig egy csúszkán keresztül érintkezik ezzel az ellenálláspályával. A csúszka az ellenálláspályán, annak végpontjai között, hibamentes működés esetén az elektromos kontaktus megszakadása nélkül szabadon elmozdítható. Ha az ellenálláspálya két végére feszültséget kapcsolunk, akkor a harmadik kivezetés és a másik két láb valamelyike közötti feszültséget felhasználva változtatható egylépcsős feszültségosztót kapunk – ez a potenciometrikus kapcsolás, az eszközt pedig *potenciométer*nek nevezzük. Ha a harmadik kivezetést a másik kettő valamelyikével közvetlenül összekötjük, vagy az egyik szimmetrikus vég nem kerül bekötésre, akkor egy változtatható ellenállást kapunk és ilyenkor az eszközt *reosztát*nak nevezzük.

A hangolható ellenállások (trimmerek) értéke csak egy szűk intervallumban módosítható, a megadott névleges ellenállás környékén. Elhelyezésüket illetően, nincsenek a felhasználók számára könnyen elérhető helyeken. Értéküket ritkán változtatják (csak közvetlenül a beültetés után vagy amikor az etalonálás/kalibrálás történik), és kizárólag segédeszköz (csavarhúzó) segítségével tehető meg (általában a hangolás után, viasszal rögzítik a beállított értéket/pozíciót). Áramköri jelölésüket és különböző megjelenési formáikat az alábbiakban szemléltetjük:



6.7 ábra – Hangolható ellenállások jellegzetes megjelenési formái

6.2 A kondenzátorok

Az ellenállások után a kondenzátor az elektronikus áramkörök talán második leggyakrabban alkalmazott alkateleme. Legalább két egymással szembenálló és rendszerint szabályos alakú vezetőből (sík- vagy hengerfelületű fegyverzetből) és azokat egymástól elektromosan elszigetelő anyagból (dielektrikumból) épül fel, általános feladata pedig a villamos tér létrehozása, az elektromos energia elraktározása a fegyverzeteken történő elektromos töltések tárolása révén. A kondenzátoron a fegyverzetekre kapcsolt feszültség hatására a feszültséggel arányos töltésmennyiség halmozódik fel, a töltés (Q) és a feszültség (U) viszonyával kifejezett pozitív mennyiség neve *kapacitás* (C):

$$C = \frac{Q}{U}$$

melynek SI- mértékegysége az *farad* (jele az F). Az $1\ F$ kapacitás borzasztó nagy érték, a szakmai gyakorlatban meghonosodott értéktartomány a $pF \dots \mu F$ nagyságrendű kapacitásokat fedi le.

A kondenzátorokat lehet sorosan vagy párhuzamosan csatlakoztatni.

Soros kapcsolás esetén az eredő kapacitás reciproka az egyes kondenzátorok reciprok kapacitásainak összege, a párhuzamos kapcsolásnál pedig az eredő kapacitás az egyes kondenzátorok kapacitásainak összege lesz – vagyis:

$$\frac{1}{C_{soros}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}$$

$$C_{párhuzamos} = \sum_{i=1}^{n} C_i$$

A feltöltött kondenzátorban felhalmozódott energia:

$$W = \frac{1}{2} C U^2$$

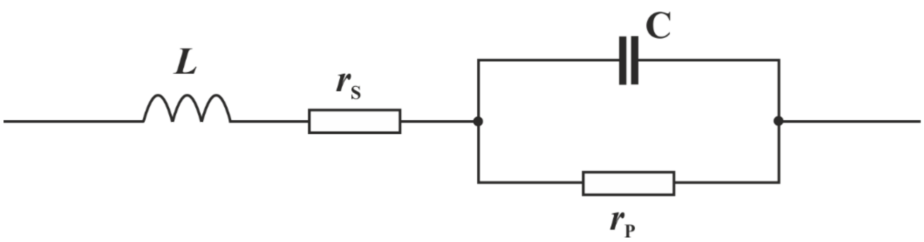
Térfogatcsökkentési meggondolásokból a fegyverzeteket összehajtogatva vagy feltekerve helyezik el. A fegyverzetek egymástól való elszigetelésére rendszerint levegőt, csillámot, papírt, olajat, kerámiát, műanyagot vagy elektrolitot használnak.

Egyenáramú áramkörökben a kondenzátor szakadást (végtelen nagy rezisztenciát) jelent, a gyakorlatban megvalósított példányoknál azonban (típustól függően) átfolyik bizonyos igen csekély szivárgási áram mert a dielektrikum réteg nem tökéletes szigetelő és a hozzávezetések, illetve a fegyverzetek nem tökéletes vezetők (van rezisztenciájuk). A kondenzátorok járulékos (parazita) elemei: a külső hozzávezetések induktivitása és ellenállása (L illetve r_S , mindkettő nagyon kis érték), a dielektrikumréteg átvezetéséből származó ellenállás (r_P, nagyon nagy érték, 10^9 – 10^{10} Ω nagyságrendű). A gyakorlati valóságban ezeknek a járulékos elemeknek az értéke a kondenzátor felépítésétől és anyagi jellemzőitől függ, az érvényesülésüket pedig a munkafrekvencia nagysága is befolyásolja.

A parazitaelemek részletes megadása helyett a dielektrikum veszteségi tényezőjét ($tg\delta$) vagy disszipációs faktorát szokták megadni, melyet a kondenzátorra értelmezett veszteségi teljesítmény és a meddő teljesítmény hányadosaként szoktak értelmezni. Jelenségileg arra kell gondolni, hogy amikor váltakozófeszültséget kapcsolunk a kondenzátorra, a kialakuló térerősség hatására a töltéshordozók elmozdulnak és vándorlásba kezdenek, illetve a szigetelőanyagban is létrejön vezetés, valamint a polarizáció – mindkettő energiát fogyaszt, ezáltal a szigetelésben veszteség keletkezik.

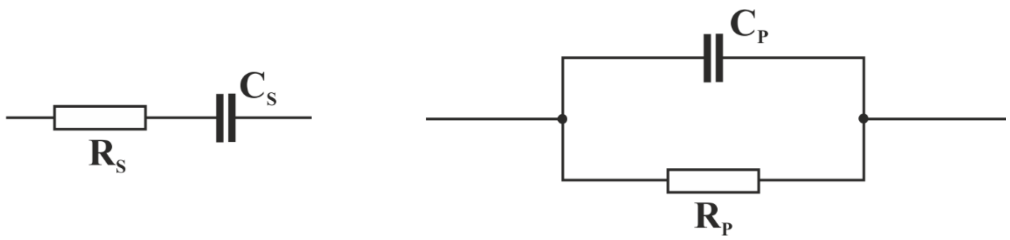
Nagyságrendileg a veszteségi tényező értéke a 10^{-2} ... 10^{-4} értéktartományban mozoghat.

A veszteséges (nem ideális) kondenzátor áramköri modelljeként használt teljes (magasfrekvenciás) kapcsolás:



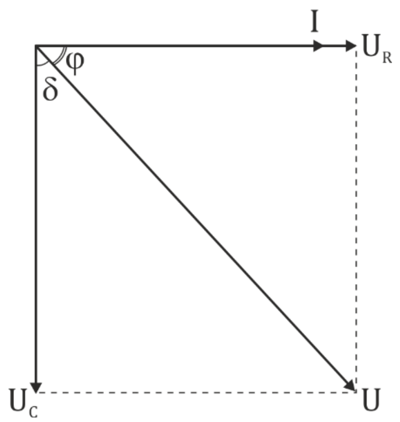
6.8 ábra – Veszteséges kondenzátor áramköri modellje

Az L induktivitású vesztességi tekercsnek csak a magasfrekvenciás alkalmazások esetén jut szerep, ezért a gyakorlatban használt egyszerűbb soros vagy párhuzamos képek elhanyagolják jelenlétét, helyükben a párhuzamos (R_P) és a soros (R_S, ESR) vesztességi ellenállásokat használják:

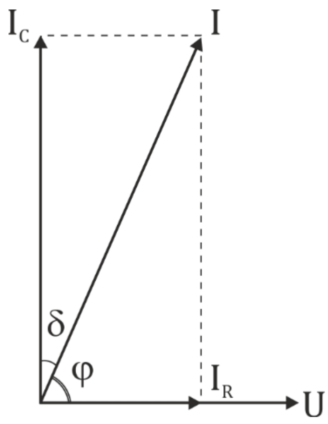


6.9 ábra – Vesztességes kondenzátor soros és párhuzamos modellje

Ezeket a helyettesítő képeket használva a vesztességi tényező is szemléletesebben mutatható be. A dielektrikumban történő (kismértékű) vezetés miatt, a kondenzátor kapcsain mérhető feszültség nem $\pi/2$ -vel fog késni az áramhoz képest, hanem annál a vesztességi szöggel (δ) kisebb értékkel:



6.10 ábra – A soros modell vektordiagramja



6.11 ábra – A párhuzamos modell vektordiagramja

A vektordiagrammok alapján kiszámolt veszteségi tényező ugyanaz mindkét esetben és a két egyszerűsített helyettesítő kapcsolásra felírható, hogy:

$$D = tg\delta = \frac{U_R}{U_C} = R_S \omega C_S = \frac{I_R}{I_C} = \frac{1}{R_P \omega C_P}$$

Bevezetve a Q jósági tényezőt (a disszipációs faktor reciprokát) felírható, hogy:

$$R_P = R_S(1 + Q^2)$$

És

$$C_P = C_S \frac{Q^2}{1 + Q^2}$$

Mivel D értéke 1-nél lényegesen kisebb, Q^2 lényegesen nagyobb lesz mint 1. Ezért belátható, hogy a fenti egyenlőségek átalakulnak és:

$$R_P \approx R_S Q^2$$

illetve

$$C_P \approx C_S$$

A gyakorlatban R_S-t szokták megadni ($m\Omega$ … Ω nagyságrendű értéke van), a katalógusadatokban *ESR* (*equivalent series resistance*) néven szerepel.

Egy kondenzátor főbb jellemző paraméterei:

- *kivezetések felcserélhetősége* (ha a bekötés nem közömbös, vagyis a nem megfelelő bekötés visszafordíthatatlan károsodást okozhat és a kondenzátor tönkremegy, megjelölik az egyik kivezetésre kapcsolandó polaritást),
- *terhelhetőség* és *névleges feszültség* (a felhasználás helyén jutó maximálisan megengedett feszültség, amin még nem következik be a dielektrikum átütése),
- *kapacitásérték és pontosság* (az ellenállások E szabványosított értéksora szerint, 1 pF-tól pár ezer μF-ig),
- *hőmérsékleti tényező* (az egy foknyi hőmérsékletváltozás okozta dielektrikum összehúzódásból, vagy kitágulásból következő kapacitásváltozás nagysága),
- *frekvenciatartomány* (egyenáramtól a felső frekvenciahatárig, amit a dielektrikumának anyaga és a kialakításból származó járulékos paraméterek szabnak meg).

Néhány speciális alkalmazástól eltekintve (szűrőáramkörök, RC oszcillátorok), a kondenzátort kizárólag váltakozóáramú körökben használják, ahol frekvencia vezérelt ellenállás (impedancia) szerepet tölt be.

A váltakozóáram frekvenciájának függvényében a kondenzátor által képviselt impedancia:

$$Z_C(\omega) = \frac{1}{\omega C}$$

ahol $\omega = 2\pi f$ a váltakozóáram körfrekvenciája, pedig a f frekvenciája.

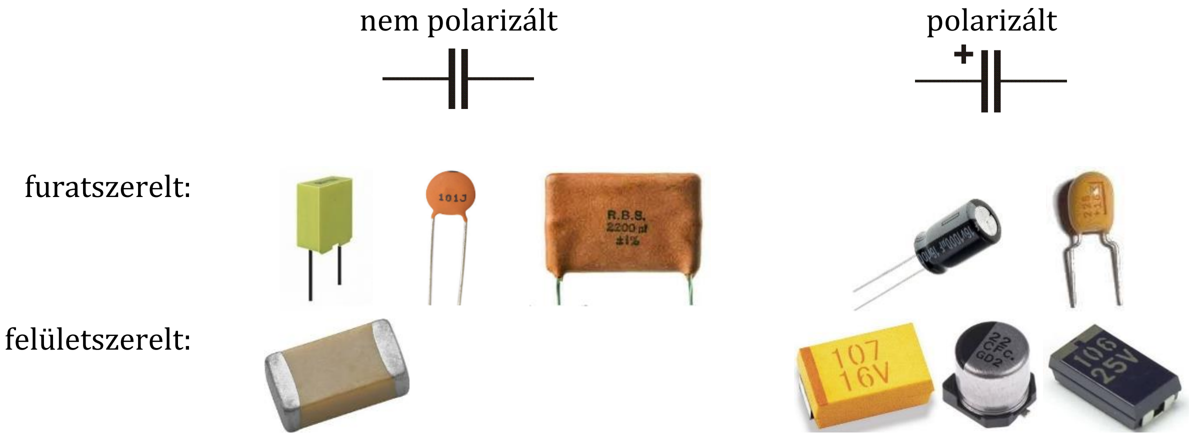
A kondenzátoroknál a terhelhetőséget a kondenzátor sarkaira kapcsolt legnagyobb megengedett feszültség értékével adják meg. A fegyverzetekre kapcsolt feszültség hatására a dielektrikumban létrejött elektromos térerősség a maximális, ú.n. kritikus térerősség értéke alatt kell maradjon.

A kritikus térerősség az az érték, amit még a dielektrikum szigetelő tulajdonságainak számottevő változása nélkül el tud viselni, meghaladva azt visszafordíthatatlan meghibásodás (átütés, vezető csatorna kialakulása) következik be.

Az ellenállásokhoz hasonlóan, az elektronikai gyakorlatban találkozhatunk olyan kondenzátorokkal, amelyek névleges értékét a gyártási folyamat során határozták meg és ezt soha nem változtatják meg a működtetés során – ezek az úgynevezett *fix* vagy *állandó értékű kondenzátorok*ok. Sok esetben a megoldandó feladat szükségessé teszi, hogy a kondenzátor kapacitása állítható legyen a működés során – ezek az úgynevezett *változtatható értékű* és a *hangolható kondenzátor*ok.

6.2.1 Állandó értékű kondenzátorok

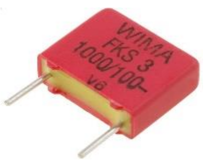
Rajzjelük típus és szabványfüggő. Az európai szabvány szerinti leggyakrabban előforduló típusokat és azok megjelenési formáit az alábbi ábrák szemléltetik:



6.12 ábra – Állandó értékű kondenzátorok

A nempolarizált kondenzátorok dielektrikuma lehet kerámia, műanyag, csillám vagy papír. Csillámot (muszkovit) használtak dielektrikumként a stabil, hosszú élettartamú és kis veszteségű kondenzátorok készítéséhez. Ma már nincsenek gyártásban, a kerámia és a műanyag alapú dielektrikumos kondenzátorok kerültek helyükbe, de a meglévő példányok etalonként használhatók. Bár az 1960-as évektől már nem gyártanak papíros dielektrikumú kondenzátorokat, széles értéktartományuk (néhány pF-tól néhány száz μF-ig) és közel százezer V-os os átütési feszültségük miatt ma is népszerűek és használják őket, főleg a híradástechnikában. A dielektrikumnak alkalmas kerámiák mesterséges kerámiák és két nagy csoportra oszthatók: egy részük jobb minőségi jellemzőkkel bír, de kisebb dielektromos állandóval rendelkezik, a másik részük gyengébb elektromos tulajdonságok mellett, nagyon nagy nagy permittivitást biztosít. Kerámiakondenzátorokat kis fizikai méretben, tárcsa, cső- vagy téglatest alakban kivitelezik. A műanyagok közül a polisztirol, a polietilén (PET) és a politetraflour-etilén (Teflon) vált be a papír és a csillám helyettesítésére.

Az elektrolitikus vagy polarizált kondenzátorokat a kis térfogat melletti nagy kapacitások elérésének céljából fejlesztették ki. A nagyon nagy kapacitású (többszáz, akár többezer μF-os) és még elfogadható fizikai méretben előállítható kondenzátorok gyártásához speciális dielektrikumokra van szükség. Ezek bizonyos fémek molekuláris oxidjai, a gyakorlatban az alumínium- (Al_2O_3) és a tantál oxidok (Ta_3O_5) váltak be. Ez a típusú kondenzátorok esetén az egyik fegyverzet magas tisztaságú fém és az azzal érintkező elektrolit, a másik pedig egy gyárilag érdesített (durvított) fém amire az elektrolit hatására oxid réteg alakult ki dielektrikumnak. Érthető, hogy ezért a felépítési sajátosságért a bekötésük sem közömbös, az alumínium alapúaknál a „–” kivezetés, a tantálos kondenzátoroknál pedig a „+” kivezetés van jól látható módon megjelölve. Ha ezeket a megjelöléseket nem vesszük figyelembe és fordított bekötés történik, a kondenzátor visszafordíthatatlanul károsodhat. A kondenzátorok szabványos értékeit szintén az IEC/EN 60063 szabvány szerinti E sorokkal határozzák meg, az értékszintet pedig pF, nF vagy μF egységekben fejezik ki.



poliészter
1 nF és 100 V



csillám
500 pF és 1000 V
5 % tűrés



kerámia
100 pF és 50 V
5 % tűrés



Al elektrolitikus
10 µF és 350 V
(jól látható a „–” megjelölésé)



tantál
2,2 µF és 25 V
(jól látható a „+” megjelölésé)

6.13 ábra – Állandó értékű kondenzátorok típus szerinti értékmegadása

A kondenzátorok esetén egyaránt alkalmazzák a számkódos (bélyegzett) vagy a színkódos értékmegadást (lásd a 11. és 12 fejezeteket). A nagyobb fizikai mérettel rendelkező kondenzátorok esetén a kapacitás értékét és mértékegységét, illetve a tűrést és/vagy a névleges feszültséget rányomtatják az alkatelemre. Ha a mértékegység hiányzik, akkor az pF-ban értendő (polarizált kondenzátoroknál pedig μF-ban)!

A kisebb fizikai méretű furatszerelt kondenzátorok esetén a három számjegy és egy betű típusú értékmegadás szoktak alkalmazni:

	első és második számjegy	= az értékszám
	harmadik számjegy	= a 10-es szorzó hatványkitevője
Példa: 473K	betű	= a tűrés (pontosság)

⇓

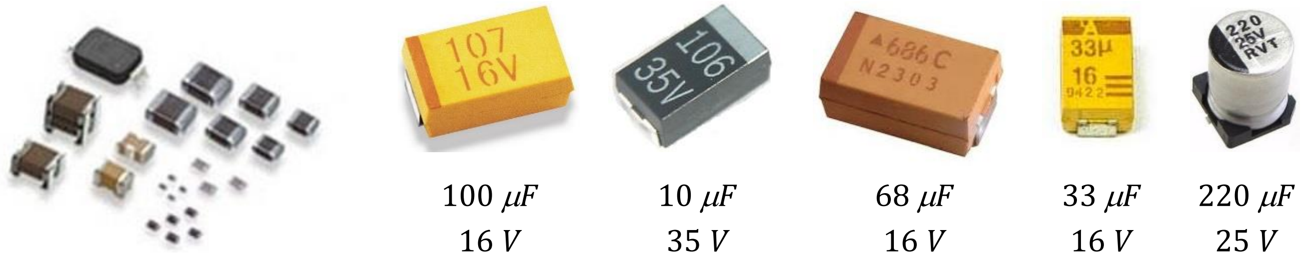
$47 \text{ x } 10^3\ pF = 47000\ pF = 47\ nF$

Amennyiben a betű után még olvasható egy számjegy, az a megengedett feszültségre utal.

A felületszerelt kondenzátorok alakja lehet téglatest vagy henger, jelölése típusfüggő. A kerámiaalapú SMD-ket nem igazán szokták bélyegezni, a kapacitást méréssel határozzák meg, de a kondenzátortest színe hasznos információt szolgáltathat a kapacitás nagyságrendjéről és a felhasznált kerámia típusáról. A fehér SMD kondenzátorok alapanyaga $MgTiO_3$ vagy $CaTiO_3$, a kapacitásuk pedig több tíz pF-ig mehet el és stabil a hőmérsékletváltozásokkal szemben. A $BaTiO_3$ alapanyagú világosbarna kondenzátorok kapacitása a nF – μF értéktartományba esik, de igen hőmérsékletérzékenyek. A fekete vagy sötétbarna kondenzátorok kapacitása igen nagy értékeket vehet fel, de ferroelektromos tulajdonságaik miatt időben jelentős öregedést (kapacitáscsökkenést) mutatnak. Amennyiben mégis a felületszerelt kerámiakondenzátorra lézersugárral kódot égetnek, az 2 betűből és egy számjegyből áll: az első betű a gyártót jelképezi (V = Vishay, K = Kemet, stb.), a második betű a kapacitás névleges értéke pF-ban, a számjegy pedig a 10-es szorzó hatványkitevője.

Példa: VS4 ⇔ V = Vishay, S = 4,7 pF, 4 = x 10^4 ⇒ $4{,}7 \cdot 10^4\ pF = 47000\ pF = 47\ nF$

A tantálalapú elektrolitikus kondenzátorok fekete vagy sárga színűek, téglatest formájúak és a pozitív kivezetést egy vonal jelzi. Az értékmegadás három számjeggyel történik (első kettő a névértéket adja meg pF-ban, a harmadik pedig a 10-es szorzó hatványkitevője). Betűjelzések esetén, ha a betű az érték elött van akkor a chip méretére, ha pedig utána van akkor a V-okban megadott feszültségre utal.

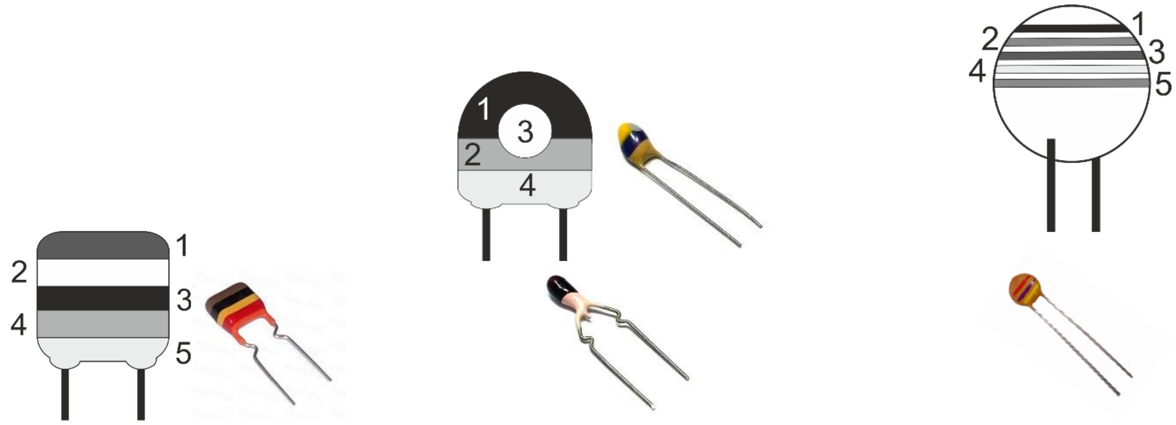


6.14 ábra – Felületszerelt kondenzátorok és értékmegadásuk

Az alumínium elektrolitikus kondenzátorok ezüst színűek és henger alakjuk van. A fekete csík a „–" kivezetés jele. A névleges értéket és a feszültséget rányomtatják a henger fedőlapjára, az esetleges betűkódok a gyártóra utalnak.

A színkódos értékmegadás általában a kerámia, a fólia (poliészter) és tantál kondenzátorokra vonatkozik. Ebben az esetben a kondenzátoron található színes csíkok jelképezik a számértéket (első és második sáv), a nagyságrendi szorzót (harmadik sáv), az értéktűrést (negyedik sáv), illetve a hőmérsékleti tényezőt vagy a névleges feszültséget (ötödik sáv). Négy színes sáv esetén az értéktűrés ± 20 %.

A korong alakú kerámiakondenzátorok esetén, ha az első színes csík széles, akkor az jelképezi a névleges feszültséget és az ötödik sáv adja meg az értéktűrést. Az alkatelem névleges értékét mindig pF-ban kapjuk meg. A sávok számozása a kivezetéseknél végződik.



polieszter	tantál	tantál	korong
0,1 μF és 250 V	0,47 μF és 35 V	1 μF és 16 V	270 nF

6.15 ábra – Kondenzátorok sávos-színkódos értékmegadása

6.2.2 Változtatható értékű kondenzátorok

Az ellenállásokhoz hasonlóan megkülönböztetjük a viszonylag széles tartományban változtatható levegős kondenzátorokat és a névleges érték körüli finomhangolásos kondenzátorokat (trimmer-eket). Természetesen rajzjelük típus és szabványfüggő. Nem igazán gyártanak változtatható értékű kondenzátorokat felületszerelt kivitelben. Az európai szabvány szerinti rajzjeleket és az azoknak megfelelő megjelenési formát az alábbi ábrák szemléltetik:



változtatható (állítható) kondenzátor csavarhúzóval hangolható kondenzátor (trimmer)

6.16 ábra – Változtatható értékű és hangolható kondenzátorok

A legközismertebb állítható kondenzátorok a régebbi rádiókészülékek hangoló elemeiként használt légszigetelésű forgókondenzátorok. Ezek dielektrikumként levegőt használnak és párhuzamos lemezekből állnak, az egyik oldal lemezei fix helyzetűek (álló rész), míg a másik oldal lemezei forgathatóak. A forgórész 180°-ot forgatható, egyik szélső állásában a kapacitás minimális, míg a másik szélső helyzetben eléri a maximális értéket (10…1000 pF nagyságrendű). Szokás megadni a vég- és kezdő kapacitások hányadosát is, ez a kondenzátor felépítéséből fakadóan 10 és 50 közötti érték szokott lenni.

6.3 A tekercsek

A tekercs vagy a transzformátor az elektronikus áramkörök ugyanolyan nélkülözhetetlen és fontos eleme, mint az ellenállás vagy a kondenzátor, de mégis ritkábban találkozunk velük a nagyobb fizikai terjedelem és helyigény, illetve az integrálhatóság hiánya és a viszonylag költséges előállítás miatt. Természetesen kivételt képeznek az ú.n. erősáramú berendezések, illetve a gyengeáramú műszertechnika és a híradástechnika, ahol az egyenirányítók, a rádió- és az erősítőkészülékek elengedhetetlen alkotóelemei.

Tekercs alatt valamilyen hordozóra (tekercstestre, csévére) csavarmenet-szerűen tekeredő elektromos vezetőt értünk. Az egymás mellé került és érintkező menetek, illetve az egymásra feltekert menetrétegek között szigetelés (lakk, műanyag, papír, stb.) van.

Elsődleges szerepük az elektromos energiának mágneses tér formájában történő raktározása és felhasználása, de ugyancsak tekercseket használnak nem névleges értékű ellenállásként az egyenáramú áramkörökben. Mindaddig amíg a tekercsben egyenáram folyik, az nem fog mágneses teret előállítani.

A tekercs végei között a rajta átfolyó áram I áramerősségének változási sebességével arányos U feszültség jelenik meg, az arányossági tényező a tekercs *induktivitás*a (L):

$$U = L\frac{dI}{dt}$$

Az induktivitás SI-mértékegysége a *henry* (jele a H). A szakmai gyakorlatban a különböző tekercsek induktivitásai a μH … H értéktartományban helyezkednek el. A tekercsben felhalmozódott mágneses energia:

$$W = \frac{1}{2}LI^2$$

A tekercseket is lehet sorosan vagy párhuzamosan csatlakoztatni. Amennyiben az egyes tekercsek között nincs mágneses csatolás:

$$L_{soros} = \sum_{i=1}^{n} L_i \qquad \text{és} \qquad \frac{1}{L_{párhuzamos}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{L_i}$$

Két tekercs között mágneses csatolás van, ha az egyik tekercsben folyó áram által létrehozott mágneses tér erővonalai áthaladnak a másik tekercsen is, és ezáltal áramuk megváltozásakor kölcsönösen feszültséget indukálnak egymásban. A kialakult kölcsönös (mutuális) indukció kifejezés két tekercs esetén (L_1 és L_2):

$$M = k\sqrt{L_1 L_2}$$

ahol k a csatolás szorosságát leíró csatolási tényező. Ha k értéke kicsi, akkor a csatolás gyenge vagy laza (kevés erővonal jut egyik tekercsből a másikba), ha ellenben értéke nagy szoros vagy erős csatolásról beszélünk (nagyszámú erővonal jut egyik tekercsből a másikba). A „tökéletes" csatolás esetén $k = 1$, csatolás nélkül pedig $k = 0$.

A két, egymással csatol tekercs esetén:

$$L_{soros} = L_1 + L_2 + 2M$$

illetve

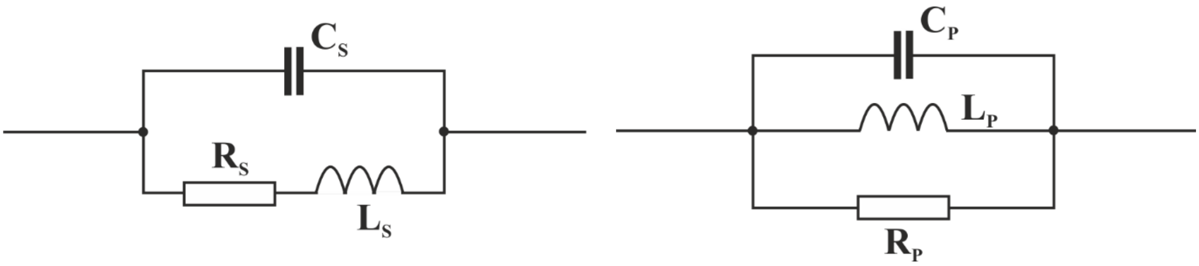
$$L_{párhuzamos} = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 - 2M}$$

Váltakozóáramú áramkörökben a tekercsek frekvenciafüggő ellenállásként működnek. A frekvencia függvényében a tekercs által képviselt frekvenciafüggő rezisztencia (impedancia):

$$Z_L(\omega) = \omega L$$

ahol $\omega = 2\pi f$ a váltakozóáram körfrekvenciája, pedig a f frekvenciája.

A szakmai gyakorlatban ideális tekercs nem valósítható meg. Ohmikus veszteséggel mindig kell számolnunk, hiszen egy tekercsnek van két kivezetése és a felhasznált vezetőnek pedig van rezisztenciája. Ez a típusú vesztesség disszipált hő formájában távozik. Magas frekvenciákon az egyes menetek között fellépő szórt kapacitás is számottevő lehet. Ez a parazita kapacitás a tekercsek végződései között és az egyes menetek vagy menetrétegek között fellépő feszültségkülönbségnek feleltethető meg, így a tekercs rezgőkörökre jellemző viselkedést mutathat. A számítási gyakorlatokban kevésbé bonyolult helyettesítő kapcsolásokkal dolgoznak, a tekercsek leegyszerűsített soros és párhuzamos helyettesítő képei az alábbi ábrákon láthatók:



6.17 ábra – Tekercsek helyettesítő képei

A tekercs veszteségi tényezőjét (D) a kondenzátoréhoz hasonlóan értelmezik, a jósági tényező (Q) pedig annak a reciproka. Olyan frekvenciatartományban szokták meghatározni, ahol a kapacitások (C_S vagy C_P) befolyása elhanyagolható. A veszteségi tényező a tekercs által felvett veszteségi teljesítménynek és a meddő teljesítménynek a hányadosa:

$$D = \frac{1}{Q} = \frac{R_S}{\omega L_S} = \frac{\omega L_P}{R_P}$$

Mivel a két helyettesítő kép impedanciája egyenlő és D^2 << 1:

$$L_S \approx L_P \qquad \text{és} \qquad R_P \approx Q^2 R_S$$

A tekercsek csoportosíthatók az elkészítésükhöz szükséges huzalok, vagy szerkezetük és felépítésük alapján, illetve rendeltetési céljaiknak megfelelően, tekercselési módjuktól függően, és még sok más egyéb szempont figyelembevételével.

Ha egy tekercs belsejét ferromágneses anyag tölti ki akkor *vasmagos tekercs*ről beszélünk. Ha a tekercs belsejében nem található vasmag, az üres, vagy csak a nemmágneses, szigetelő anyagból készült csévetest található ott, *légmagos tekercs*ről beszélünk.

A tekercstest alakjának szempontjából megkülönböztetjük a henger, a tórusz és a csigavonal (spirál) alakú tekercseket.

A huzalok tekercselése és kivitelezése szerint leggyakrabban előforduló tekercsek: *kapacitásszegény* (vastag csupasz vagy szigetelt huzalból, ahol a menetek nem érnek egymáshoz); *egyrétegű* (vagy *egysoros*) szigetelőanyagból készült testen (nagy menetemelkedéssel és légréssel tekercselve, vagy szorosan egymás mellé tekercselt huzalmenetekkel, a meneteket csak a huzal szigetelése választja el egymástól); *egyszerű többréteges* szigetelt vezetékből (több rétegben, rendezetten menet-menet mellé tekercselve vagy rendezetlenül egymásra, össze-vissza); *kereszt tekercseléses* (igen ki szórt kapacitások elérésére) ; *kosárfenék* (menetek lapos csigavonal mentén egy tartóvázon); *nyomtatott áramkör technikával* készült (spirál alakzatok).

Az egysoros tekercseket kis induktivitás érték, alacsony szórt kapacitás és kis menetek közötti feszültség, illetve magas frekvenciatartományú felhasználás jellemzi. A többrétegben kivitelezett, többsoros tekercsek kisebb fizikai méret mellett nagyobb induktivitást biztosítanak, de ugyanakkor nagyobb szórt kapacitással és menetközi feszültséggel, illetve nagyobb veszteségekkel rendelkeznek. Ezek az utóbbi típushoz tartozók könnyebben is átütnek.

A tekercselés anyaga legtöbbször rézhuzal, tömör vagy sodrott kivitelezésben. A huzalozás szigetelése lehet műanyag, lakk vagy zománcozott réteg, esetleg ezüstbevonat. Nagyteljesítményű alkalmazásoknál használatos a cső, melyben vizet keringetnek hűtés céljából.

A tekercseket rezgőkörökben frekvenciameghatározásra, fojtótekercsként pedig a váltakozóáram áramerősségének szabályozásra használják. A leggyakoribb alkalmazással a transzformátorok esetén találkozunk. Ebben az esetben legalább két, egymással mágnesesen csatolt tekercsről van szó, ahol a teljesítményátvitel és átalakítás, az állandó értékű feszültség- vagy áramerősítés, illetve az erősítőfokozatok közötti váltóáramú csatolás vagy az impedanciaillesztés feladatát látják el. Legfontosabb jellemző adataik a menetszám, a tekercshossz, a menetfelület, az önindukciós tényező, a jósági tényező és a veszteségi ellenállás, ha tekercsekről van szó. A transzformátorok esetén a rendszerint megadott információk a menetszámáttétel, teljesítményszint, névleges primer, illetve szekunder feszültség és impedancia, veszteségek stb.

A tekercsek és transzformátorok rajzjele típus és szabványfüggő. Az európai szabvány szerinti lég- illetve vasmagos tekercs és transzformátor szimbólumot, a nekik megfelelő leggyakrabban előforduló megjelenési formákkal az alábbi ábrák szemléltetik:






rajzjel | csévetest nélkül, egysoros | csévetesten, többsoros | planár (sík)

6.18 ábra – Furatszerelt technológiájú légmagos tekercsek



rajzjel

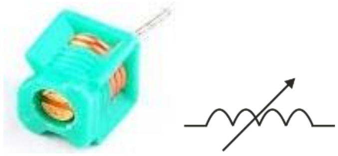


henger, ferrit rudas



toroid

6.19 ábra – Furatszerelt technológiájú vasmagos tekercsek



6.20 ábra – Hangolható tekercs és rajzjele



hengeres alak



téglatest alak

6.21 ábra – Felületszerelt technológiájú tekercsek

rajzjel





egyfázisú, kis- vagy középfeszültségű



toroid alakú

6.22 ábra – Vasmagos transzformátorok rajzjele és látképe

A gyakorlati valóságban a tekercsek tulajdonságai oly kevéssé ideálisak, és kivitelezésük (forma, felhasznált anyagok, jellemző értékek) annyira függ a felhasználás módjától, hogy a sorozatgyártásuk, illetve a kereskedelmi készletezésük is csak rendkívül szűk körben, az ú.n. mikroinduktivitások esetén szokásos. Ezért leginkább csak a tekercsek készítéséhez szükséges szerelvényeket (csévetest, mag, rögzítő elem) és vezetékek kerülnek gyártásra, majd készletezésre, a konkrét tekercseket az adott alkalmazásokhoz egyedileg méretezik és készítik el. Transzformátorok esetén valamivel egyszerűbb a helyzet, mivel a szaküzletek készletezése lefedi a szakmai gyakorlat igényeit a teljesítményszint, illetve névleges feszültségek értékeinek figyelembevételével.

A szolenoid egy olyan henger alakú tekercs, melynek átmérője jóval kisebb, mint a hossza, az induktivitásának kiszámítására szolgáló képlet:

$$L[H] = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 S}{l}$$

ahol $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ {}^{H}/_{m}$ a vákuum mágneses permeabilitása, μ_r a vasmag relatív mágneses permeabilitása (ha van), N a menetszám, $S\ [m^2]$ a hengertekercs átmérőjének megfelelő felület, $l\ [m]$ a hengertekercs hossza.

Toroid alakú tekercsek esetén:

$$L[H] = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 S}{2\pi r}$$

ahol $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ H/_m$ a vákuum mágneses permeabilitása, μ_r a vasmag relatív mágneses permeabilitása (ha van), N a menetszám, $S\ [m^2]$ a toroid függőleges keresztmetszetének területe, $r\ [m]$ a toroid sugara (a belső és külső sugarak számtani középarányosa).

A planár technológiával készült csigavonalas tekercsek induktivitása számára elfogadott képlet szerint:

$$L[H] = 31{,}33\mu_0 N^2 \frac{a^2}{8a + 11c}$$

ahol $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ H/_m$ a vákuum mágneses permeabilitása, N a menetszám, $a\ [m]$ a tekercs átlagsugara (a belső és külső sugarak számtani középarányosa), $c\ [m]$ a tekercs átmérője. A négyzet, hatszög és nyolcszög alakú planártekercsek induktivitásának kiszámolása a fenti képlet alapján, korrekciós tényezők alkalmazásával történik.

Első lépésben a tekercs önindukciós tényezőjét számítással határozzák meg. A szakmai gyakorlatban számos megközelítő képlet létezik az önindukciós tényező kiszámítására. A geometriai méretek és a mágneses anyagok tulajdonságainak pontatlansága miatt azonban a tényleges induktivitás lényegesen eltérhet a számított értéktől.

Ha az induktivitás pontos értékének gyakorlati jelentősége van, a tekercset hangolhatóra kell készíteni. A huzalt műanyag vagy kerámia csévetestre tekercselik fel, ezért a geometriai méretek nem változtathatóak. A hangolást általában úgy végzik, hogy a hengeres csévetest furatába készített menetbe a szükséges hosszban hernyócsavar formájú, valamilyen mágneses tulajdonságokkal rendelkező magot hajtanak be vagy ki.

A valóságos tekercsnek a geometriai méreteitől, valamint a tekercs anyagának fajlagos ellenállásától függő, a nullától különböző villamos ellenállása lesz. Ezen a rezisztencián a tekercsen átfolyó áram hatására feszültség esik, az áram és a feszültség szorzataként adódó teljesítmény a tekercsben hővé alakul át (tekercsveszteség, vagy rézveszteség). Vasmagos tekercsekben még megjelenik a vasveszteség is, ennek két oka van: az örvényáramú veszteség, illetve az átmágnesezési veszteség.

A komplexebb méretezési feladatok és számítások az *Elektrotechnika* feladata.

A tekercsek névleges értékmegadása esetén használatos úgy a bélyegzett, mint a színkódos módszer. A felületszerelt tekercseknél a bélyegzett számkódos rendszert alkalmazzák (13. fejezet).

Bélyegzett rendszerű jelölés:	$xRy \Rightarrow$ induktivitás μH-ben, R a tizedespont helye
	xyz (3 számjegy) $\Rightarrow$ induktivitás nH-ben vagy μH-ben, az első két számjegy számérték, a harmadik a szorzó (nullák száma)
Színkódos rendszer:	3 sávban $\Rightarrow$ számérték | számérték | szorzó
	4 sávban $\Rightarrow$ számérték | számérték | szorzó | tűrés
	5 sávban $\Rightarrow$ ezüst | számérték | számérték | szorzó | tűrés

7. AKTÍV ÁRAMKÖRI ELEMEK

7.1 A félvezető

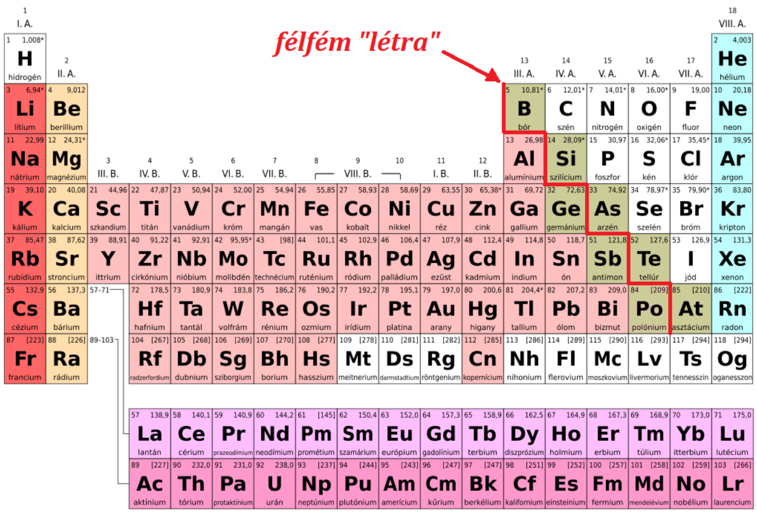
A félvezető fogalom első használatát (1782) Alessandro Volta olasz fizikusnak tulajdonítják. A félvezetőhatás első tudományosan dokumentált megfigyelését Michael Faraday nevéhez társítják (1833). Ő figyelte meg elsőnek, hogy bizonyos anyagok rezisztenciája exponenciális hőmérsékletfüggést mutat. Bár a XIX. század során és a XX. század elején sok érdekes találmány és alkalmazás kötődött ezen új anyagokhoz – az akkor még igen fejletlen gyártási és ipari technológiák miatt – műszaki jelentőségük nem volt számottevő. A berobbanást és az elektronika forradalmasítását az 1947-ben felfedezett tranzisztorhatás és az elkészített bipoláris tranzisztor jelentette. Itt vette kezdetét a félvezetőalapú elektronika, a fejlődés folyamata és annak vívmányai ma már magukért beszélnek.

Egy szilárd halmazállapotú anyag szobahőmérsékleten mérhető fajlagos vezetőképessége (σ) szerint az anyag lehet vezető ($\sigma = 10^5$-10^9 $\Omega^{-1}m^{-1}$) vagy szigetelő ($\sigma = 10^{-4}$-10^{-10} $\Omega^{-1}m^{-1}$). Ha az adott anyag vezetőképességének értéke e két tartomány közé esik és a fajlagos vezetőképesség hőmérsékletfüggése csökkenő vagy növekvő exponenciális viselkedést mutat, akkor *félvezető*ről beszélünk. Ez a viselkedés, a viszonylag kis vezetőképesség értékkel társulva igen lekorlátozza a gyakorlati alkalmazási lehetőségek spektrumát, hiszen szobahőmérsékleten nem is lesznek jó szigetelők, de nem is vezetik jól az áramot. A félvezetők elméletét, a szilárdtestfizika vagy annak egy modernebb, sajátos része a félvezetőfizika tárgyalja. Az anyag ezen eltérő fajlagos vezetőképességének megmagyarázása az atom- és kvantumfizika sávmodelleljének segítségével történhet.

Az önálló atom atommagja körül keringő elektronok csak pontosan meghatározott pályákon tartózkodhatnak és csak ezeknek a pályáknak megfelelő energiákat vehetnek fel. Az elektromos vezetési tulajdonságok szempontjából csak a legkülső elektronoknak, az úgynevezett vegyérték-elektronoknak jut szerep. Ezzel szemben a kristályos szerkezetű szilárd anyagban az alkotó atomok térben jól meghatározott rendszeresség szerint és igen közel helyezkednek el egymáshoz. A közelség miatt az egyes atomtörzsek elektronfelhői átfednek, az addig egyéni energiaszintek sávokká szélesednek ki, a vegyérték-szintekből vegyérték-sáv lesz. A „felette" kialakult vezetési sávtól az úgynevezett tiltott sáv választja el. Ez azokból az energia-szintekből jött létre amelyek nem megengedettek az elektronok számára. A vegyértéksáv be van töltve elektronokkal, így ez a sáv nem hozhat létre elektromos vezetést. A vezetéshez arra van szükség, hogy elektronok kerüljenek a vezetési sávba, ott pedig egy külső villamos tér hatására szabadon elmozdulhassanak és így elektromos áramot hozzanak létre. Az elektronok a vegyértéksávból a vezetési sávba való jutásához akkora energiára lesz szükség, amely elegendő a tiltott sáv átugrásához. Ezt az energiát biztosíthatja a melegedés vagy valamilyen más külső energiaforrás (sugárzás). Ennek a tiltott sávnak energiaértékekben kifejezett szélessége szabja meg, hogy adott hőmérsékleten egy anyag melyik csoportba tartozik. Vezetőknél a vegyértéksáv és a vezetési sáv részben átfedik egymást, vagy legalábbis 0,2 eV "energiatávolságnál" közelebb vannak egymáshoz (1 $eV \approx 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J).

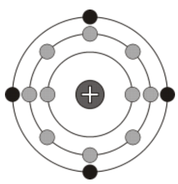
Ezért már akár szobahőmérsékleten nagyon sok szabad (vezetési) elektronnal rendelkeznek és ez eredményezi a jelentős vezetőképességet. A szigetelőknél viszont olyan széles a tiltott sáv, hogy elektronok nem juthatnak a vezetési sávba (nagyobb mint 3 *eV*). A félvezetők tiltott sávjának szélessége ezen két energiaérték között található.

A kémiai elemek periódusos rendszerében találunk olyan elemeket, amelyek tiszta, természetes állapotban rendelkeznek félvezető tulajdonságokkal (*Ge*, *Si*, *Se*), más elemek csak valamilyen vegyület formájában mutatnak ilyen tulajdonságokat (*GaAs*, *AlGaAs*, *InGaAs*, *InSb*, *SiC*, *PbTe*, *PbS*, TiO_2, Cu_2O stb.). Észrevehető, hogy a félvezetőipar számára fontos elemek a periódusos rendszer félfém „létrájának" közvetlen szomszédságában helyezkednek el:



7.1 ábra – Az elemek periódusos rendszere, a félfém létra és „szomszédjai"

A modern elektronika leggyakrabban előforduló félvezető anyagai a szilícium (*Si*) és a gallium-arzenid (*GaAs*). A gallium-arzenid köbös kristályú, kékes-zöldes színben játszó sötétszürke fémes fényű szilárd anyag. Tulajdonságai jól befolyásolhatók a fény hatására. A szilícium egy szürke színű, fémesen csillogó, nagyon kemény anyag, az oxigén után a földkéreg második leggyakoribb eleme és a természetben gyakorlatilag mindig oxigénnel együtt található (leggyakoribb ásványa a kvarc, SiO_2). A *Si* kristályrácsa a gyémántéhoz hasonló, köbös lapközéppontos. A felvezetőkre jellemző legfontosabb tulajdonságokat a szilícium elektronszerkezetét szemléltetve fogjuk bemutatjuk. A *Si* rendszáma (Z) 14 és atomtömege (A) 28,806, vagyis felépítésében 14 elektron, 14 proton és 14 neutron vesz részt, ezért elektronszerkezete $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^2$, azaz 4 vegyértékelektronnal rendelkezik:

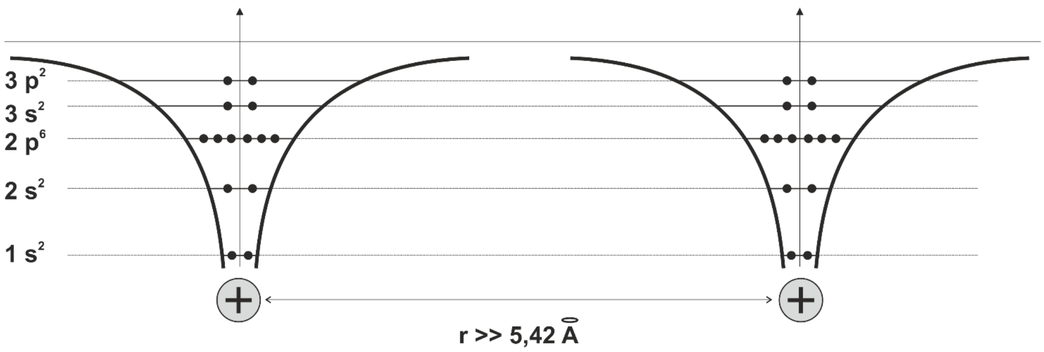


⊕ atommag

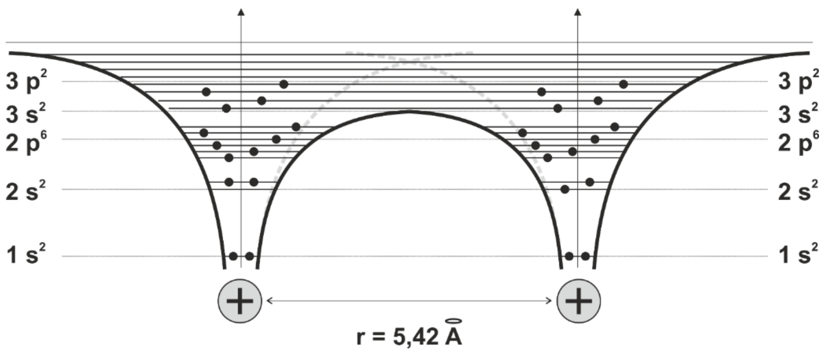
10 "normál" elektron ($1s^2\ 2s^2\ 2p^6$)

4 vegyérték elektronok ($3s^2\ 3p^2$)

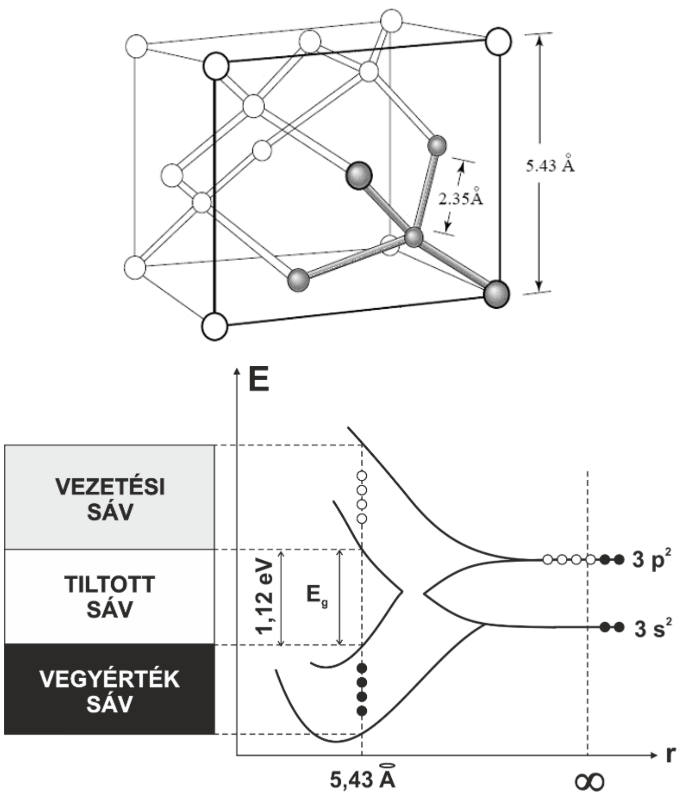
7.2 ábra – A *Si* atom szerkezete



7.3 ábra – Energiaszintek 2 önálló *Si* atom esetén – egymástól nagyon távol (sokkal messzebb, mint a kristályszerkezet rácsállandója)



7.4 ábra – 2 *Si* atom a kristályban egymástól egy rácsállandónyi távolságra

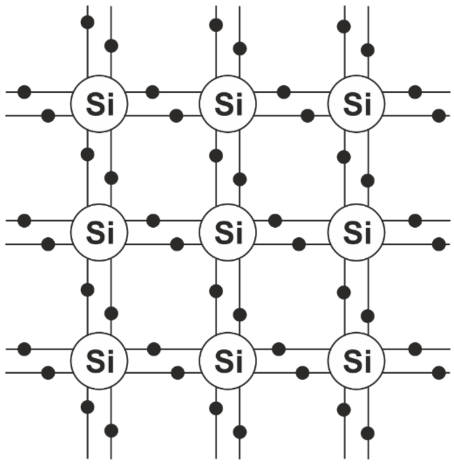


A kristályszerkezetben minden egyes *Si* atom megosztja mind a négy vegyértékelektronját a szomszédos *Si* atomokkal úgy, hogy egy-egy elektron a legközelebbi atom egyik elektronjával összekapcsolódva párt alkot.

Az így kialakított kovalens kötések egy szimmetrikus tetraéderes (gyémánt típusú) szerkezet kialakulásához vezetnek: minden egyes *Si* atomot 4 szomszédos, azonos távolságra levő *Si* vesz körül.

7.5 ábra – A kialakult szilícium kristály és energiasávjai

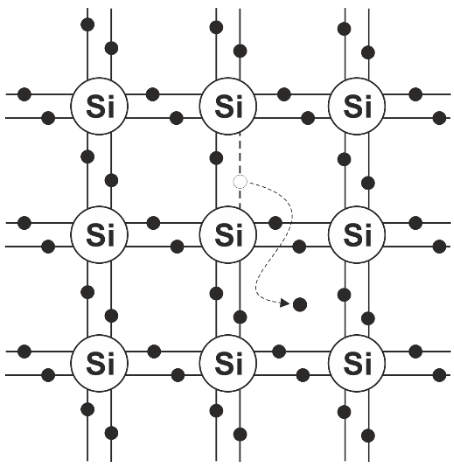
A térbeli kristályszerkezet a könnyebb áttekinthetőség érdekében leegyszerűsíthető egy ekvivalens, kétdimenziós síkszerkezetté: a *Si* atom 4 vegyértékelektronjának kovalens kötéseit olyan párhuzamos vonalak jelképezik, amelyeken a kötésben résztvevő elektronok találhatók.



Egy tiszta (idegen atomok nélküli) *Si* félvezető kristályban nagyon alacsony hőmérsékleteken (az abszolút nulla szomszédságában) minden elektron energiája a tiltott sáv alatt van, a vegyérték sáv tele van (foglalt), a vezetési sáv pedig üres. Ezért a kristály áramot nem vezet, szigetelőként viselkedik. A hőmérsékletet növelve kötések szakadnak el, elektronok gerjesztődnek és a tiltott sávot átugorva a vezetési sávba jutnak, vezetést hozva létre a kristályban.

7.6 ábra – A „tiszta” *Si* kristály 2D-s modellje

A vezetésben nem csak a vezetési sávba jutott szabad elektronok vesznek részt, hanem a vegyértéksávban a helyükön keletkezett elektronhiány („lyuk”) is. Ez a lyuk virtuális pozitív részecskeként modellezhető a félvezetőfizikában. A lyuk úgy fog mozogni, hogy az elektron a térerősség hatására az elektronhiány helyét (a lyukat) betölti, és így az elektronhiány (lyuk) arra a helyre kerül, ahol azelőtt volt az elektron. A hőmérsékleti gerjesztés hatására létrejövő elektron-lyuk párok hatására létrejött vezetést nevezzük *sajátvezetés*-nek, az ilyen vezetéstípust mutató félvezetőt pedig *tiszta* vagy *intrinsic* félvezetőnek hívjuk. A sajátvezetés, azaz az elektron - lyuk párképződés tulajdonképpen a külső energiaközlés hatására felbomló kovalens kötésekből származik (az áramvezetés számára oly fontos töltéshordozók, elektronok és lyukak, mindig párosan keletkeznek). A folyamatnak a fordítottja is folyamatosan jelen lesz, azaz elektronok térhetnek vissza a vezetési sávba, és ott ez lyukak megszűnését vonja majd maga után. Ez a töltéspár eltűnő folyamat a *rekombináció*.



7.7 ábra – Elektron-lyuk párkeltés a tiszta *Si* kristályban

Természetesen, állandó hőmérsékleten a párképződés és a rekombináció egyensúlyban van. Szobahőmérsékleten (300 *K*) 1 cm^3 *Si* kristályban, megközelítőleg $1{,}5\cdot10^{10}$ darab elektron és lyuk van, aminek egy $6\cdot10^{-5}$ $\Omega^{-1}\cdot cm^{-1}$ fajlagos vezetőképesség felel meg.

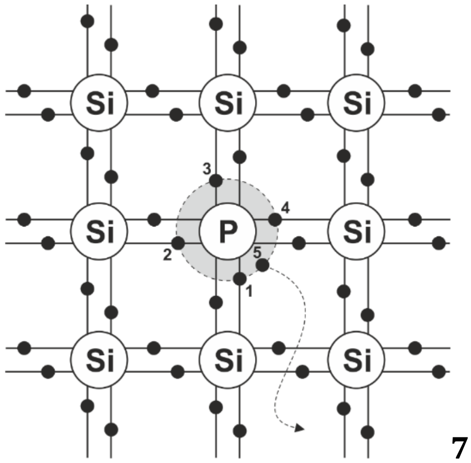
Egy félvezető kristály vezetőképessége jelentősen megnövelhető, ha a szerkezetébe (nagyon jól meghatározott feltételek mellett) idegen atomokat juttatnak. Ezt a folyamatot nevezik szennyezésnek vagy adalékolásnak. Kétfajta adalékolást különböztetünk meg: *intersztíciális szennyezés*-ről beszélünk, ha az idegen atom, mint többlet szorul be a kristály atomjai közé, és *helyettesítő szennyezés*-ről akkor, ha az idegen atom be is épül a rácsszerkezetbe, kiszorítva helyükről a félvezetőkristály alapatomjait.

A szennyező atomok számos vegyértékelektronja nem fog tudni kovalens kötést alkotni a szomszédos alap-atomokkal, ezek a kötetlen elektronok részt vehetnek az áramvezetésben, ezért a szennyezett félvezető a hőmérséklettől függetlenül jól (jobban) vezeti az áramot.

A szennyezés viszonylag kismértékű szokott lenni (10^{-5}-10^{-6} %, azaz 1 szennyező jut 10^8 alap-atomra), de a szabad töltéshordozók koncentrációja megközelítőleg 10^3-10^6 –szor nagyobb, mint a termikus töltéshordozók koncentrációja.

A helyettesítő szennyezés akkor lehetséges, ha a szennyező atom vegyértéksávjának szerkezete csak kismértékben különbözik a kristály atomjának vegyértéksáv szerkezetétől, mondjuk egy vegyértékelektronnal többje vagy kevesebbje van. A szilícium számára ilyenek az ötvegyértékű *As* (arzén) vagy *P* (foszfor), illetve a háromvegyértékű *In* (indium) vagy *B* (bór).

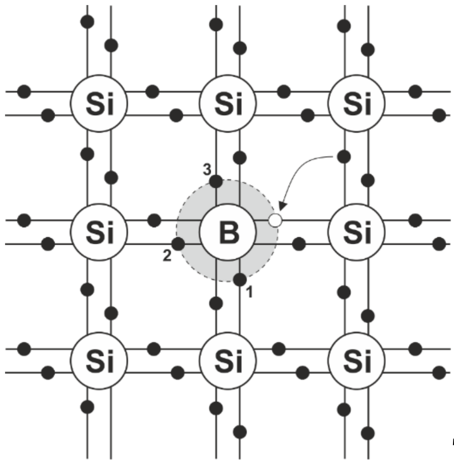
Ha az 5 vegyértékelektronnal rendelkező szennyezőt helyezzük el a *Si* kristályrácsába, a kristály „tökéletes” felépítéséhez az ötödik elektronra nincs szükség, ezért nagyon kis energiaközlés hatására az szabad elektronná válik, és a vezetési sávba jut. A sávmodellben a szennyező atomok energiaszintje a vegyérték és a vezetési sáv között helyezkedik el, így már szobahőmérsékleten elegendő az energia arra, hogy az ötödik elektronok jelentős része a vezetési sávba jusson, mivel a hőmérsékleti gerjesztés energiája közel ugyanekkora. Ezáltal a *Si* kristály vezetőképessége jelentősen megnő. A vezetési sávban a szennyező atomok számának megfelelő elektron van, ennél lényegesen kisebb a sajátvezetésnek megfelelő elektron-lyuk pár. Mivel sok az elektronok száma, a rekombináció lehetősége megnő, így a lyukak száma hangsúlyozottan lecsökken. A vezetést szinte kizárólag elektronok végzik, ezért az ilyen kristály neve *n típusú félvezető*. A hozzáadott szennyező atomot, mivel elektront ad le a kristálynak, *donor atom*-nak nevezzük.



7.8 ábra - Az *n* típusú *Si* kristály 2D-s modellje

Mivel a kristályban azonos számú pozitív töltés van a rácsionokban, mint ahány szabad elektron, ezért makroszkopikusan tekintve az anyag elektromosan semleges marad.

Ha egy 3 vegyértékelektronnal rendelkező atommal szennyezi a *Si* kristályt, akkor a „tökéletes" kötéshez szükséges negyedik elektron hiányzik. Ezt egy szomszédos *Si* atom adja majd, de ott (annak a helyén) a kristályban elektronhiány, lyuk fog keletkezni. Ezeket a lyukakat majd további szomszédos elektronok tölthetik be, és így a lyukak szabad vándorlása jön létre. Az ilyen félvezetőkristályt *p típusú*-nak, a három vegyértékű szennyezőatomot (mivel egy elektront fogad be, azaz köt le) *akceptor atom*-nak nevezzük. Természetesen ez a típusú adalékolt félvezető is elektromosan semleges anyag.



7.9 ábra - A *p* típusú Si kristály 2D-s modellje

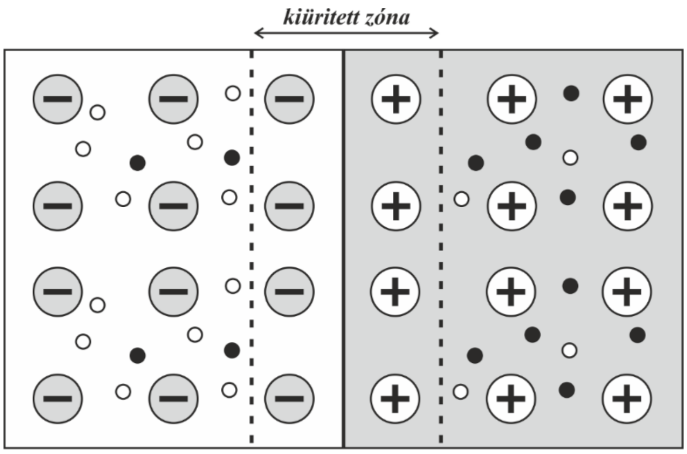
A szennyezett félvezetőkben a szennyező atomok hatására létrejött elektronokat ill. lyukakat többségi töltéshordozóknak nevezzük, míg a sokkal kisebb számban jelen lévő, sajátvezetést okozó lyukak ill. elektronok a kisebbségi töltéshordozók.

A félvezetőalapú elektronikus alkatelemek túlnyomó többségének működése az úgynevezett *p-n átmenet* kialakulásához és sajátosságaihoz kötődik.

Ha a félvezetőkristály egyik felét donor, a másikat akceptoratomokkal szennyezzük, a kétféle *p* és *n* típusú félvezető találkozásánál létrejövő határfelületen a hőmozgás miatt elektronok jutnak a *p* típusú rétegbe és onnan lyukak kerülnek át az *n* típusúba.

Ez a diffúziós folyamat nem vezet az elektronok és lyukak teljes kiegyenlítődéséhez. A *p* típusú szennyeződéses anyagba bediffundálódó elektronok a határfelület közelében lévő lyukakkal, az *n* típusú kristályba bejutott lyukak az ott többségben lévő elektronokkal rekombinálódnak, és kölcsönösen semlegesítik egymást.

Ez egy rekombinációs folyamat, a diffúziós folyamattal együtt kétszeresen kiürítik a határfelület közvetlen kétoldali szomszédságát.



A határfelület két oldalán lévő donor és akceptoratomok helyhez kötött ionjai (nagy tömegük miatt) nem képesek elmozdulni, és ezért a félvezető anyag ezen részei elektromosan nem maradnak semlegesek.

7.10 ábra – A p-*n* átmenet kialakulása

● *elektron* ○ *lyuk* ⊖ *akceptor* ⊕ *donor*

Egy elektromosan töltött zóna alakul ki a határfelület két oldalán, a *p* típusú rétegben a negatív akceptor ionok miatt negatív többlettöltés, az *n* típusú rétegben pedig a pozitív donor ionok miatt pozitív többlettöltés lesz jelen. Ez a tértöltés olyan irányú elektromos erőteret hoz létre, amely a további diffúziót megakadályozza, fékező hatással lesz az *n* típusú réteg elektronjaira és a *p* típusú rétegből származó lyukakra. Ennek eredményeképpen a határfelület két oldalán (1-2 *μm* mélységben) gyakorlatilag nem lesznek sem elektronok, sem lyukak. A töltéshordozók hiánya miatt ezt a réteget *kiürített réteg*-nek, *p-n átmenet*-nek nevezzük.

A fékező tértöltésnek megfelelően potenciálkülönbség lesz a két réteg között. Ezt a feszültséglépcsőt nevezzük *diffúziós feszültség*nek. Ennek értéke *Si* esetén kb. 0,65 V, *Ge*-nál pedig kb. 0,3 *V*. A diffúziós feszültség megakadályozza a töltéshordozó-kiegyenlítődést a határrétegen keresztűl. További változás csak akkor jöhet létre, ha külső elektromos teret (feszültséget) kapcsolunk az átmenetre. Ennek iránya és nagysága fogja megszabni a kristály viselkedését és tulajdonságait, illetve az innen származó alkalmazási lehetőségeket.

Ha a *p* típusú réteg nagyobb potenciálra kerül, mint az *n* réteg, akkor *nyitóirány*-ról beszélünk.

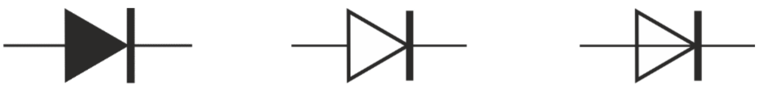
Ez a folyamatosan növelt nyitóirányú külső feszültség kezdi csökkenteni a potenciálgátat, a kiürített réteg a feszültség növekedésével együtt elkezd vékonyodni, az elvékonyodott rétegen egyre könnyebben tudnak átjutni a töltéshordozók és nőni fog az átmeneten átfolyó áram. A potenciálgát legyőzésére szükséges feszültséget nevezzük *nyitófeszültség*-nek. Ennek elérése után a töltéshordozók szabadon áramlanak át a határfelületen, az áramerősség pedig meredek emelkedést mutat.

Ha az *n* típusú réteg nagyobb potenciálra kerül, mint az *p* réteg, akkor *záróirány*-ról beszélünk. a folyamatosan növelt külső záróirányú feszültség növeli fogja a kialakult potenciálgátat, a kiürített réteg kiszélesedik, csak a *p-n* átmeneti rétegen a termikus gerjesztésekkel létrejövő és az elektromos térben szétváló töltéshordozó párok kitaszításából származó maradékáram vagy visszáram folyik át (ez hozzávetőlegesen *nA* nagyságrendű *Si* esetében). Amennyiben a zárófeszültség túl nagy lesz, az átmenet megszűnhet (letörés) és a töltéshordozók áramlása rohamosan növekedni kezd (a lavina hatás és a Zener effektus miatt).

7.2 A félvezetőalapú dióda

A legegyszerűbb félvezető alkatelem az úgynevezett *félvezető dióda*, amely úgy jön létre, hogy a *p-n* átmenet külső felületeit érintkezőkkel látják el (a *p* típusú félvezető kivezetése az ANÓD, az *n* típusú félvezető kivezetése pedig a KATÓD nevet viseli). Amint az a felépítésében megtalálható *p-n* átmenet működéséből is következik, a félvezető dióda viselkedése függ a kivezetéseire csatlakoztatott feszültség polaritásától, és bizonyos szerkezeti sajátosságoktól.

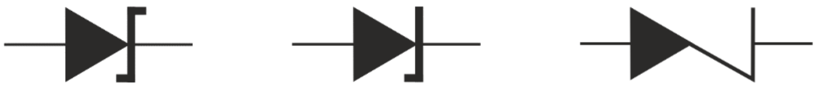
Ha tápforrás pozitív sarka a *p* rétegre (az anódra) csatlakozik, a negatív sarok pedig az *n* rétegre (a katódra), akkor a külső és belső elektromos terek iránya ellentétes lesz és ennek következtében a potenciálgát csökkeni kezd, de mindaddig amíg az eredő térerősség a *p* réteg irányába mutat, a dióda nem vezet (nem működik, a többségi töltéshordozók nem juthatnak át az átmeneten). Amint az eredő térerősség irányt vált, a potenciálgát eltűnik, és a dióda vezet, azaz működik, a többségi töltéshordozók átjuthatnak az átmeneten és a diódán áram fog átfolyni. A félvezető diódák eme „egyirányú" vezetését használják ki az *egyenirányítás*ban és a *jelalakformálás*ban, az alkatelem pedig az *általános célú* vagy *egyenirányító dióda* nevet viseli, a szabványosított rajzjele:



7.11 ábra – Az általános célú dióda rajzjelei

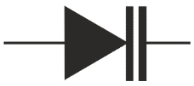
Ha a tápforrás pozitív sarka a *n* rétegre csatlakozik, a negatív sarok pedig az *p* rétegre, akkor a külső és belső elektromos terek összeadódnak és a potenciálgát kiszélesedik, csak a kisebbségi töltéshordozók juthatnak át az átmeneten – ez szolgáltatja majd az elhanyagolhatóan kicsi telítési záróáramot. Ha a feszültséget tovább növeljük, egy adott kritikus feszültségérték

elérésénél (letörési feszültség) a dióda záróárama hirtelen megnő (megsokszorozódik) és viszonylag nagy áramok folynak át a diódán nagyon kis további feszültségemelkedés mellett. A tapasztalt letörés okai a Zener átütés (alagúthatás) és a lavina sokszorozódás (ütközési ionizáció). A letörési folyamat megjelenésével beálló viszonylag stabil, ingadozásmentes feszültségérték teszi lehetővé a *feszültségstabilizálás*nak nevezett alkalmazási lehetőséget, a dióda neve pedig *feszültségstabilizáló* vagy *Zener* dióda. A szakmai gyakorlatban bevált rajzjelei:



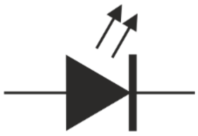
7.12 ábra – A feszültségstabilizáló dióda rajzjelei

Mivel a *p* és *n* tartományok tulajdonképpen egy kondenzátort alkotnak, ennek a képzeletbeli kondenzátornak a kapacitása párhuzamosan kapcsolódik a félvezetődiódával és feszültségvezérelt kondenzátorrá alakítja azt. *Kapacitásdióda* vagy *varikap dióda* lesz azoknak a diódáknak az elnevezése, amelyeket úgy gyártanak, hogy ez a képzeletbeli kondenzátor magasfrekvenciákon söntölje az alapdiódát (azaz gátolja a szokásos diódafunkciók ellátását) és ezáltal lehetővé tegye a rezgőkörök feszültségvezérelt hangolását. Záróirányú előfeszítéssel működtetik, ezért nem folyik át rajta jelentős áram, de a kiürítési réteg vastagsága, és ezáltal kapacitása is a rákapcsolt feszültséggel változik, rajzjele:



7.13 ábra – Az kapacitásdióda rajzjele

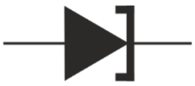
Az a félvezető dióda, amely a nyitóirányú előfeszítésnél az elektron-lyuk párok rekombinációja során felszabaduló energiát a tiltott sáv szélességének megfelelő fénysugárzás formájában bocsátja ki, *világítódióda* vagy *LED* néven ismeretes. A fénykibocsátó diódák jelleggörbéje annyiban tér el a hagyományos diódák jelleggörbéjétől, hogy az erős felfutás nagyobb feszültségeken (1,6 *V* felett) következik be és a fényjelenségek elég nagy nyitóirányú feszültség elérése után jelennek meg (kb. 2 *mA* diódaáramnál, 1,6 – 2,6 *V* feszültség hatására). A kibocsátott fény hullámhosszát (jellegzetesen UV tartománytól az IR-ig) a felhasznált félvezetőötvözet összetétele szabja meg. A LED-ek elsősorban mint kijelző eszközök használatosak, tanulmányozásukkal az elektronika egy sajátos szakterülete, az *optoelektronika* foglalkozik.



7.14 ábra – A világítódióda (LED) rajzjele

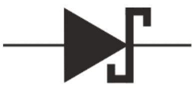
Az *alagútdióda* (*Esaki*- vagy *tunnel dióda*) erősen szennyezett *p-n* átmenettel rendelkezik és a kvantummechanikából ismert alagúthatás elvén működik. Ez az erősen szennyezett réteg igen keskeny, közel 10 *nm* széles.

Az erős szennyezettség eredményeként létrejön egy kiürített réteg, ahol az *n* oldali elektronok és a *p* oldali lyukak kölcsönhatásba lépnek egymással és rekombinálódnak, így mindkettő megszűnik. Többnyire germániumból készül, de szilícium alapú dióda is létezik. Az alagútdiódát különleges feszültség-áram karakterisztikája (negatív ellenállású tartomány) miatt nagyfrekvenciás oszcillátorok erősítőelemeként használják (ilyen feltételek mellett jobb a teljesítményük, mint a tranzisztoroké). A *p-n* átmenet szennyezettségét az megszokottnál nagyobbra növelve (10^{19} - 10^{20} szennyező/cm^{-3}) a Zener átütés egyre kisebb, akár pozitív feszültségen is bekövetkezhet és az így kapott eszköz jelleggörbéje számottevően módosulni fog: nyitóirányba az áram növekedik, kb $\sim 100\ mA$ nagyságú maximumot mutat majd 0,5 – 1 V átmeneti esés után újból meredeken emelkedni kezd, a magas szennyezettségi szint miatt a *p-n* átmenet (határzóna) igen keskeny, ezért az alagúthatás következtében a töltéshordozók átjuthatnak kis nyitóirányú feszültségek esetén is, ezért hirtelen áramerősségnövekedés jön létre, majd a telítődés elérése után az áramerősség csökkenni kezd, mert a potenciálgát csökkenése mellett a kiürített réteg szélessége növekedni kezd (negatív ellenállású szakasz). A további feszültségnövekedés normál diódakarakterisztikához vezet. Az alagútdióda rajzjele:



7.15 ábra – Az alagútdióda rajzjele

Bonyolultabb szerkezetű félvezető dióda a *Schottky dióda* és az *PIN dióda*. A *Schottky dióda* fém-félvezető átmenetből áll, amelyet úgy készítenek, hogy egy adalékolt, legtöbbször *n* típusú, félvezető anyagra igen vékony aranyréteget párologtatnak. A vékony aranyréteg miatt csak a félvezetőben alakul ki kiürített réteg, aminek áramvezető tulajdonságai külső feszültséggel befolyásolhatók. A fémrétegre pozitív, a félvezető rétegre pedig negatív feszültséget adva a dióda kinyit, ellenkező esetben lezár. A fém-félvezető átmenet tehát diódaként viselkedik. Fontos megjegyezni, hogy mivel minden félvezető eszköz fémes kivezetések révén csatlakozik más alkatelemekhez és az áramkörhöz, nagy lényeges és szükséges az, hogy az így kialakított fém-félvezető átmenet ne egyenirányító, hanem ohmikus viselkedést mutasson. Ennek elérésére a fém és a félvezető közé egy koncentráció gradienses félvezetőréteget helyeznek (a fém szomszédságában a szabad töltéshordozók koncentrációja nagyságrendileg közel áll a fém szabadelektronjainak koncentrációjához, azaz a félvezető erősen dópolt, és ez fokozatosan csökken a mélységgel). Az alkalmazás szempontjából legfontosabb tulajdonságai: a *Si*-nál kisebb nyitófeszültség, elhanyagolható nagyságú záróáram, igen kicsi kapacitás (jó nagyfrekvenciás alkalmazhatóság). Leggyakrabban a kapcsolóüzemű tápegységekben használják egyenirányításra és olyan alkalmazásoknál, ahol nagyon gyors működésre van szükség.



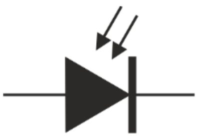
7.16 ábra – Az Schottky dióda rajzjele

A *PIN* dióda egy olyan nagyfeszültségű félvezető dióda, amelynek *p* és *n* rétege között tiszta (intrinsic) kristály van. Záróirányú előfeszítés esetén az intrinsic rétegben nincsen tértöltés, így a térerősség itt helytől független értékű. Mivel a lavinajelenség megközelítőleg egy adott térerősségnél következik be, az tiszta réteg vastagságának növelésével növelhető a letörési feszültség (ez jellegzetesen olyan 1 – 2 *kV* nagyságrendű). Nyitóirányban a kétoldalról belépő töltéshordozók nagymértékben csökkentik az intrinsic réteg ellenállását, így nagy áramok esetén is igen kicsi lesz a nyitóirányú feszültség. Jól alkalmazható nagyfrekvenciákon csillapítóként és modulátorként, kapcsolóként, illetve detektorként.



7.17 ábra – A PIN dióda rajzjelei

A *fotodióda* egy fényérzékeny dióda, azaz a fény hatására a zárórétegben a belső fényelektromos hatás miatt töltéshordozók szabadulnak fel, és ezáltal vezetővé válik. Tehát fényt detektál és nem fényt bocsát ki, ezért sem szabad a LED-el összetéveszteni! A fotodióda külső feszültség nélkül fényelemként (napelemként, fotovoltaikus elemként) működik. A fotodiódákat elsősorban mérési és vezérlési feladatokban használják és mindig záróirányban működtetik őket, rajzjelük:



7.18 ábra – A fotódióda rajzjele

Tanulmányozásuk az optoelektronika és a szenzorika feladata.

A felsorolt félvezetődiódák különböző furat- és felületszerelt megjelenési formáit az alábbi ábrák szemléltetik:



7.19 ábra – Különböző diódák megjelenési formái

7.3 A tranzisztor

A tranzisztor a modern elektronika alapeleme, gyártják önálló alkatrészként és megtaláljuk őket az integrált áramkörök alkotóelemeiként is. Történelmileg az első félvezető alkatelem, amely segédáramkörben alkalmazott vezérlőjel (áram vagy feszültség) hatására a főáramkör áramát fokozatosan vagy ugrásszerűen változtatni tudja. Az elnevezés az angol *transistor* szóból származik, amely a *transfer* és a *resistor* szavak összevonása és a magyar nyelvben ez az *ellenállásáttétel* fogalmának felel meg. Két alapvető típusa ismeretes. Az egyik a *bipoláris tranzisztor*, amelynek jellegzetessége az, hogy áramvezérelt és működése során mindkét töltéshordozó típus (elektronok és lyukak) szerephez jut (innen az elnevezése is). A másik típus jellegzetessége, hogy a működésben csak egynemű töltéshordozók (vagy csak az elektronok, vagy csak a lyukak) vesznek részt és az alkatelem feszültség- vagy villamos térvezérelt. Innen ered ennek a típusnak az elnevezése is: *unipoláris* vagy *térvezérlésű tranzisztor*.

7.3.1 A bipoláris tranzisztor

Egy háromrétegű félvezető eszköz, amelyet jelek erősítésére vagy kapcsolására, illetve feszültségstabilizálásra alkalmaznak. A három réteg eltérő adalékolású (szennyezésű), tehát egy tranzisztor két darab *p-n* átmenetet tartalmaz, az egyes rétegek szennyezettsége nem feltétlenül homogén és a rétegeket elválasztó átmenetek nem szükségszerűen síkok.

A bipoláris tranzisztorban két *p-n* átmenetet hoznak létre, amelyben vagy az *n* vagy a *p* rész közös, ezért megkülönböztethető a *pnp*, illetve az *npn* típusú bipoláris tranzisztor.

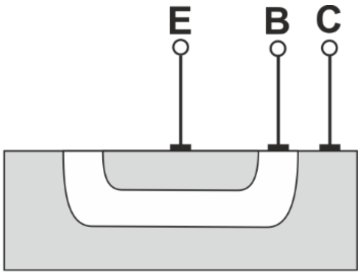


7.20 ábra – Bipoláris tranzisztorok rajzjelei

A három eltérő adalékolású és egymást felváltva követő réteg elnevezése: *emitter* (a töltéshordozók forrása, kibocsátója, emittálója), *bázis* (a vezérlésre szolgáló alapréteg) és *kollektor* (a töltéshordozók gyűjtője, kollektálója).

A rétegek nem szimmetrikusak és nem cserélhetők fel. Mindháromnak külön csatlakozása van és a bázis vastagsága igen kicsi (kisebb, mint az emitter többségi töltéshordozóinak diffúziós hossza, $\sim 10\ \mu m$), szennyezettsége pedig alacsonyabb, mint a másik két rétegé (az emitter adalékoltsága nagyságrendekkel nagyobb, mint a bázisé). Ha a vezérlési feladatot ellátó bázison keresztül nem folyik áram, akkor az emitter és kollektor között sem fog.

Amennyiben a bázison keresztül áram folyik át, nagyságával arányosan fog áram folyni a kollektor és az emitter között, ezért legáltalánosabban a bipoláris tranzisztort "szabályozó szelepként" foghatjuk fel, amely egy bemenő áram (bázisáram) áramerőssége alapján szabályozza a rajta átfolyó áram áramerősségét (a kollektoráramot).



7.21 ábra – A bipoláris transzitor rétegmodellje

7.3.2 A térvezérlésű tranzisztor

A térvezérlésű tranzisztorok működése a legegyszerűbben úgy érthető meg, ha változó keresztmetszetű ellenálláshuzaloknak tekintjük őket, ahol a vezeték (csatorna) keresztmetszetét (és ezzel az ellenállását) elektromosan állítjuk (a változó ellenállás állandó feszültségre kapcsolva, változtatja a csatorna áramat is). Tehát a kialakított vagy kialakuló félvezető csatornán átfolyó áramot úgy szabályozzuk, hogy külső elektromos erőtérrel (feszültséggel) megváltoztatjuk a félvezető vezetőképességét, illetve a töltéshordozók áramlására rendelkezésre álló keresztmetszetet.

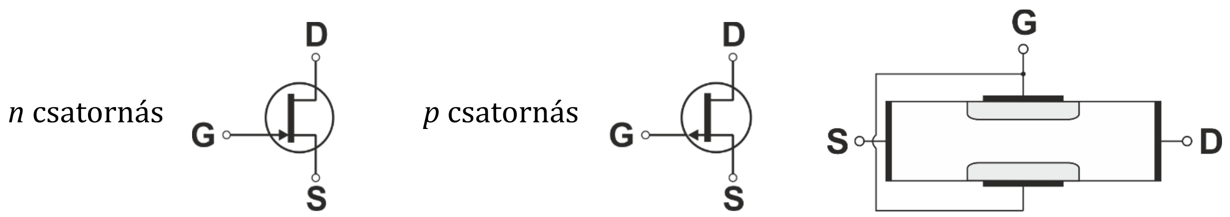
A félvezető dióda tárgyalásánál láthattuk, hogy a záró irányban előfeszített *p-n* átmenet feszültséggel vezérelhető kapacitásként viselkedik, de ugyanakkor feszültséggel vezérelhető ellenállásként is felhasználható. A keresztmetszetváltozás egymással szemben álló *p-n* átmenetek „összenövése" révén szabályozható, olyanszerűen, mint ahogyan az öntözéskor a vízsugár sebessége megváltoztatható a locsolótömlő összeszorításával.

Konstrukciós és egyben működési szempontokból két fő csoportra oszthatjuk őket (ehhez hozzáadódik mint extra osztályozási kritérium a homogén módon szennyezett félvezető kristálytömb többségi töltéshordozóinak típusa – *n* vagy *p*). Ez a két csoport a *záróréteges*, illetve a *szigetelőréteges* térvezérlésű tranzisztorok csoportja. A két típus közös tulajdonságai a kis bemenő áramok, kis teljesítményigény, kis helyigény (könnyebb integrálhatóság), kisebb hőmérsékletfüggés.

A töltéshordozók forrását jelentő félvezető részt *source*-nak vagy *forrás*-nak nevezzük (jele: *S*), a töltéseket a *drain* vagy *nyelő* gyűjti be (nyeli el, jele: *D*). A forrás és nyelő adalékolása azonos típusú, az alapkristályé (*bulk* vagy *substrate*) ellentétes. A kialakított vagy kialakuló csatornán folyó áramot a *kapuelektróda*, a *gate* vezérli (jele: *G*).

7.3.2.1 A záróréteges térvezérlésű tranzisztor

Az eszköz két *p* rétege között egy *n* réteg helyezkedik el, a két *p* rétegen, valamint az *n* réteg két végpontján rezisztív kivezetéseket alakítanak ki. A két *p* réteghez tartozó kivezetéseket összekötik, ezek képezik a vezérlő kapuelektródát A vezérelhető ellenállás a közrefogott csatorna végpontja között keletkezik.



5.22 ábra – A záróréteges térvezérlésű tranzisztorok rajzjelei és felépítésének rétegmodellje

Ha a vezérlő elektródára a csatorna egyik végéhez képest 0 *V* feszültséget adunk, a *p*-*n* átmeneteken csekély szélességű kiürített réteg alakul ki, ezért a csatorna szabad keresztmetszete viszonylag nagy, két végpontja közötti ellenállás pedig kicsi. Amikor a vezérlő elektródára (G) kis zárófeszültséget kapcsolnak, a kiürített réteg szélessége megnő, a csatorna keresztmetszete elkezd csökkeni, ezért ellenállása megnövekedik. Tovább növelve a vezérlő elektródára kapcsolt zárófeszültséget a kiürített réteg egyre szélesedik, és egy, az eszközre jellemző (lezáró) vezérlő feszültségnél már a csatorna teljes keresztmetszetét elzárja. Ekkor a csatorna két vége között nem folyhat áram, az ellenállás gyakorlatilag végtelen (a csatorna elzáródott). Tehát, a csatorna ellenállását a vezérlő elektródára kapcsolt feszültséggel lehet változtatni, a vezérlő feszültség a kiürített réteg szélességét befolyásolja. Célszerű, ha a kiürített réteg inkább az ellenállást képező csatornába nyúlik be, ezért gyártáskor a csatornát igen gyengén, míg a vezérlő elektródát erősen adalékolják.

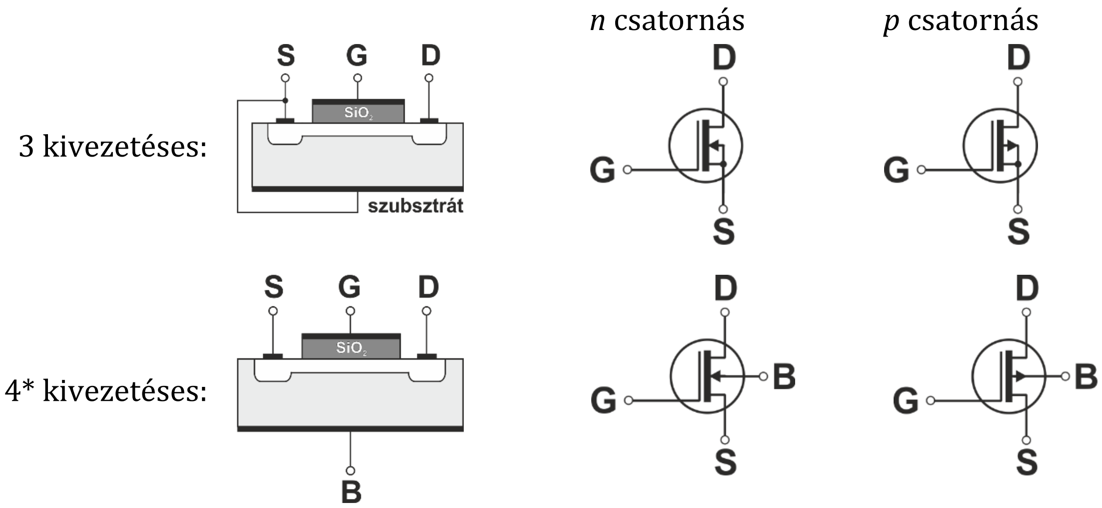
Az eszköz jellegzetes lezáró feszültsége 1 - 7 *V* nagyságrendű, a csatorna ellenállása pedig a 0 *V* vezérlő feszültségnél érvényes kb. 100 Ω-tól az elzáródáskor tapasztalható több $M\Omega$-ig terjedhet. A záróréteges elnevezést az indokolja, hogy a G kapuelektródát az forrás és a nyelő közötti "vezető" csatornától a kiürített (záró) réteg zárja el.

7.3.2.2 A szigetelőréteges térvezérlésű tranzisztor

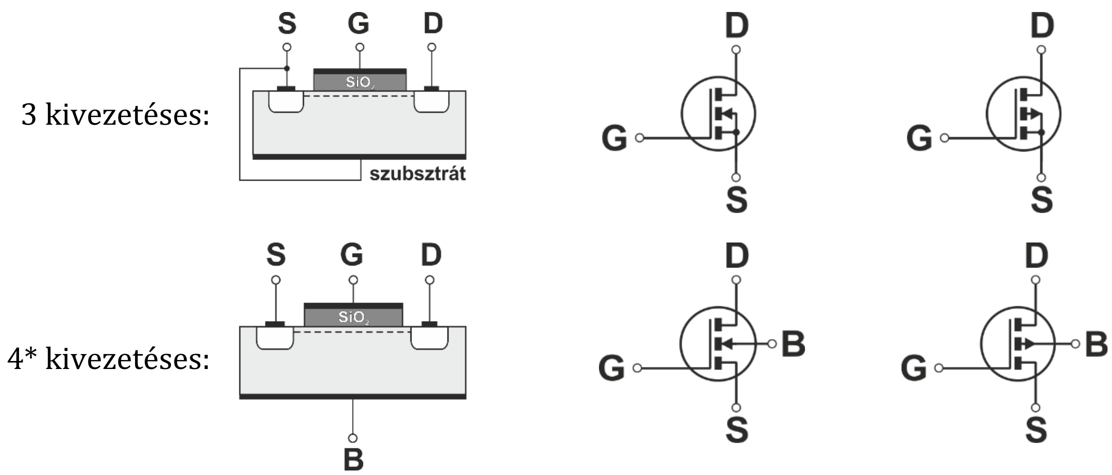
Ebben az esetben a fémből készült kapuelektródát egy oxidréteg szigeteli el a félvezetőtől. Gyártásilag ezt a tranzisztort úgy hozzák létre, hogy például a *p* szubsztrátumba két önálló n szennyezettségű réteget diffundáltatnak (ezek lesznek az S forrás és a D nyelő) ezután a felületet szilíciumoxid réteggel borítják (a kivezetések csatlakoztatása érdekében lyukak vannak rajta), majd az oxidréteg felületén párologtatással alakítják ki a kapuelektródát képező alumínium réteget. Két alcsoportot különböztetünk meg, egy szigetelőréteges térvezérlésű tranzisztor lehet *kiürítéses* vagy *növekményes*.

A *kiürítéses* térvezérlésű tranzisztor sajátossága az, hogy beépített vezető csatornával rendelkezik, működési elve megegyezik fő vonalakban a záróréteges térvezérlésű tranzisztor működésével és szintén feszültséggel vezérelhető ellenállásként modellezhető.

A *növekményes* térvezérlésű tranzisztor sajátossága az, hogy beépített vezető csatornával nem rendelkezik, ha a kapuelektródára nem adnak feszültséget, a forrás (*S*) és a nyelő (*D*) között szakadás van. Amennyiben a kapuelektródára kis pozitív feszültség jut, akkor ez a potenciál lyukakat szorít ki a *G* kapuelektróda alatti hordozórétegből és a forrás, illetve a nyelő között kiürített réteg keletkezik. Ha a kapu feszültsége még pozitívabbá válik, akkor a forrásból szabad elektronokat vonz a kiürített rétegbe, kialakul az n típusú csatorna.

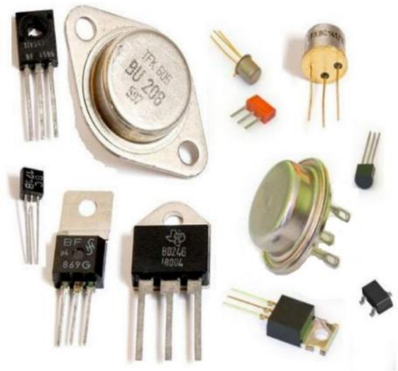


7.23 ábra – A szigetelőréteges térvezérlésű tranzisztorok rajzjelei és felépítése



7.24 ábra – A növekményes térvezérlésű tranzisztorok rajzjelei és felépítése
* a *B* bázis (szubsztrát) használatkor összekötendő az *S* forrással

A bemutatott tranzisztorok különböző furat- és felületszerelt megjelenési formáit az alábbi ábra szemlélteti:

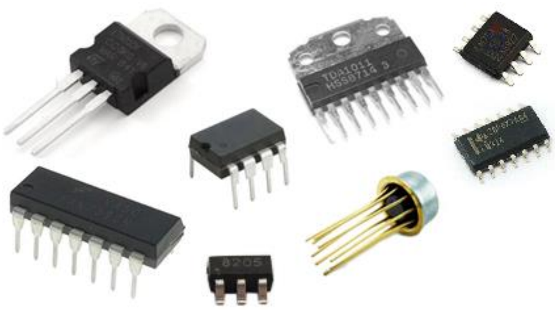


7.25 ábra – Különböző tranzisztor tokozások

7.4 Az integrált áramkör

Az *integrált áramkör* (angolul *Integrated Circuit*, azaz IC), amelynek tipikus része a tranzisztor, félvezető lapkán (esetleg lapkákon) kialakított nagyon kis méretű áramkör, amely egy igen jól meghatározott feladatnak tesz eleget (erősít, feszültségstabilizál, billen, logikai műveletet végez stb.). Mivel a hagyományos passzív elemek (ellenállás, a kondenzátor, tekercs), a tranzisztor méretéhez viszonyítva, jóval nagyobb helyet foglalnak el, ezért ritkábban kerülnek integrálásra, bizonyos megszorítások mellett tranzisztorokkal helyettesíthetőek.

Az integrált formában megvalósított áramkör előnyei egy azonos funkciót megvalósító hagyományos áramkörrel szemben a nagyobb megbízhatóságban, kompakt kivitelben, nagy funkciósűrűségben, kis helyigényben, nagyobb sebességben, kisebb fogyasztásban és gazdaságosabb tömeggyártásban rejlenek. A legjellegzetesebb integrált áramkör különböző furat- és felületszerelt megjelenési formáit az alábbi ábra szemlélteti:

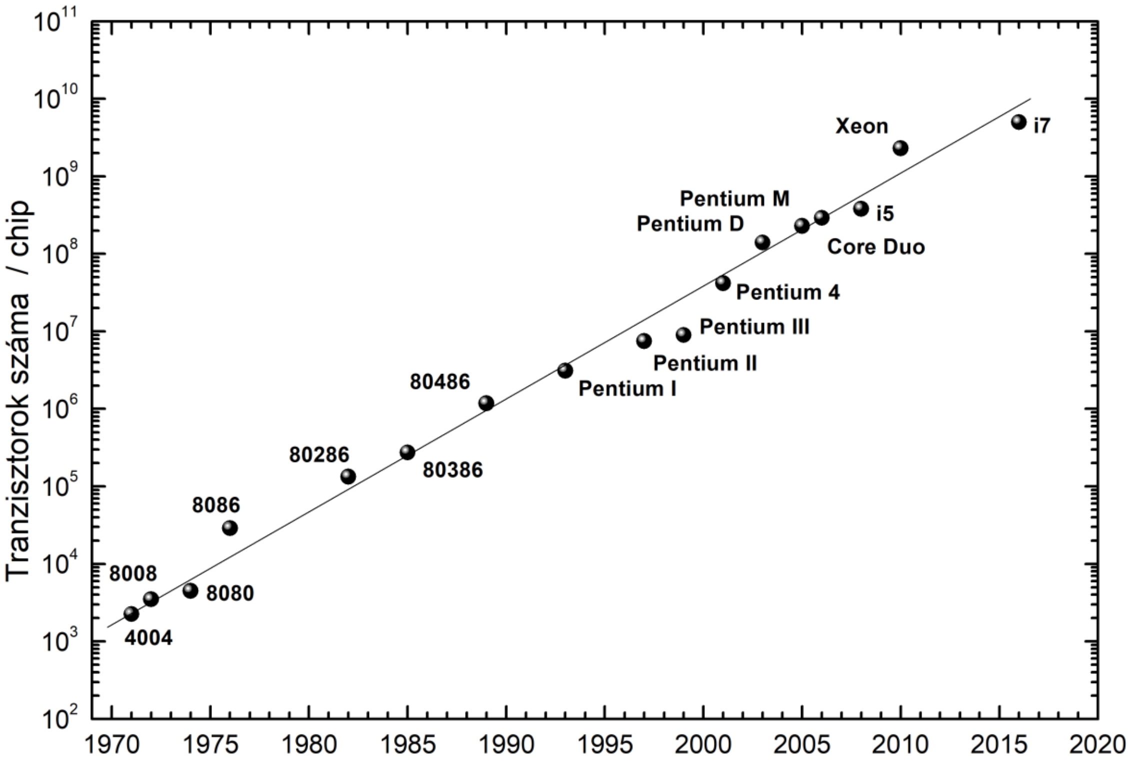


7.26 ábra – Integrált áramkörök

Ma már az integrált áramköri piacot a digitális (logikai) áramkörök túlsúlya jellemzi. Ennek alapvető oka, hogy sok feladat kényelmesebben megoldható digitális formában. Analóg jelek esetén a jeleket digitalizálják, digitálisan feldolgozzák, majd visszaalakítják analóg jellé. Digitális formában az információveszteség detektálható, illetve könnyebben elkerülhető, mivel a folytonos analóg jelszintből csupán azt kell eldönteni, hogy az egy adott referenciánál alacsonyabb, vagy magasabb. Ezáltal a kis erősségű zavarok szinte teljesen kiküszöbölhetőek.

A technológia fejlődése mindig kisebb tranzisztorok előállítását tette lehetővé. Így több tranzisztor vált integrálhatóvá egyetlen áramkörbe. Ez a komplexitás növekedés több mint 50 éve őrzi exponenciális jellegét (Moore-törvény, 1965: „az integrált áramkörök összetettsége – a legalacsonyabb árú ilyen komponenst figyelembe véve – körülbelül 18 hónaponként megduplázódik”). Egyre több tranzisztort tartalmazó és egyre nagyobb bonyolultságú áramkörök kerülnek piacra.

Ha a mikroprocesszorok világát nézzük, akkor az 1971-es az Intel 4004 mikroprocesszor 2250 tranzisztort jelentett egy chip-en, ami 2010-ben az Intel Xeon processzornál 2,3 milliárd tranzisztort jelent a chip-en, a 10 magos i7-esben (2016) ez a szám már valahol 4 és 5 milliárd között van. Sajnos 2017-től már nemigazán közölnek megbízható adatokat a chipen található tranzisztorszámról.



7.27 ábra – A Moore-törvény

Az integrált áramköröket bonyolultságuk vagy integráltságuk alapján is lehet osztályozni:

SSI (Small Scale Integration):
- kis bonyolultságú fokozat, kis integráltságú elemekkel
- egy-egy részfeladatra készültek
- jellegzetesen 50 tranzisztornál vagy 50 kapunál kevesebbet tartalmaznak
- ilyenek a logikai alapfüggvényeket megvalósító logikai kapuk)

MSI (Medium Scale Integration):	• közepes bonyolultságú fokozat, közepes integráltságú elemekkel • bonyolultabb feladatok megoldására készültek • jellegzetesen 50-nél több, de 500-nál kevesebb tranzisztort vagy 200 kaput tartalmaznak • ilyen a léptető regiszter vagy egy multiplexer
LSI (Large Scale Integration):	• nagy bonyolultságú fokozat, nagy integráltságú elemekkel • komplex feladatok ellátására készültek • jellegzetesen 500 tranzisztornál több, de 20000-nél kevesebb tranzisztort tartalmaznak • ide tartoznak például a szorzó áramkörök
VLSI (Very Large Scale Integration):	• nagyon nagy bonyolultságú fokozat, nagyon nagy integráltságú elemekből kialakítva • jellemzőjük, hogy univerzálisan alkalmazhatóra tervezték őket, azaz nemcsak egyetlen részfeladat elvégzésére • jellegzetesen 20000-nél több tranzisztort tartalmaznak • ilyen a mikroprocesszor

8. AZ ALKATELEMEK ADATLAPJAI

Az adatlap egy olyan – rendszerint a gyártó által kiadott – műszaki dokumentum (nyomtatvány), amely az elektronikus alkatelem jellemző műszaki adatait tartalmazza. Az adatlapok értelmezése alapvető fontossággal bír az elektronikus tervezési folyamatban, hiszen a bennük megadott információkból lehet megtudni az adott alkatelem legáltalánosabb tulajdonságait, a megengedett működési határértértékeket és a mechanikai méreteket.

A különböző típusú alkatelemek adatlapjai értelemszerűen eltérnek. Ugyanakkor a különböző gyártók azonos típusú és névleges értékű alkatelemek esetén is eltérő adatlapokat adnak ki – a főbb jellemzők és a határértékek általában megegyeznek, de a jelleggörbék (a sajátos tesztkörülmények miatt) különbözhetnek. Az egyetemes felhasználhatóság céljából az adatlapok egyezményesen elfogadott nyelve az angol.

Egy adatlap legfontosabb általános, illetve sajátos címszavait, fejezeteit – a teljesség igénye nélkül – az alábbiakban soroljuk fel és értelmezzük. Természetesen ezek jelenléte, elhelyezkedése vagy sorrendje egy adatlapon tetszőleges és általában a gyártótól függ.

Description (*Általános leírás*):

Egy nagyon átfogó általános leírás az alkatelemről – itt a gyártó legtöbbször egy rövid (1-2 mondatos) összefoglaló ismertetőt ad meg a termékéről, kitér az esetleges gyártástechnológiai tulajdonságokra, a tokozási, anyagösszetételi, számozási-kódolási sajátosságokra, illetve arra, hogy az alkatelem mire szolgál, milyen célt valósít meg. Bizonyos gyártók adatlapjaiban a *General Description* vagy *Introduction* megnevezéssel szerepel.

Features (*Legfontosabb tulajdonságok*):

Az adatlap kezdőoldalán található és a termék leglényegesebb tulajdonságának összefoglalását jelenti. Itt a gyártó legtöbbször a jellegzetes csúcsértékekkel, felvett teljesítménnyel, tűréssel, értékstabilitással, tömeggel vagy helyettesítő alkatrészkódokkal kapcsolatos információkat adja meg.

Applications (*Alkalmazások*):

A gyártó egyszerű felsorolása arról, hogy az adott alkatelemet milyen konkrét feladat(ok)ra tervezte.

Pin Diagrams (*Lábkiosztás*):

Az adatlapnak ezen a részén a gyártó cég az alkatelem lábkiosztását ismerteti azon termékek számára, amelyek bekötése és felhasználása, a kivezetések sorrendje és rendeltetése szempontjából, nem közömbös. Bizonyos gyártók adatlapjaiban a *Pin Out* vagy *Connection Diagram* megnevezéssel szerepel, vagy megnevezés nélkül, a címlapon a legfontosabb tulajdonságok (*Features*) mellett adják meg ábra formájában.

Absolute Maximum Ratings (*Határértékek*):

A határérték egy adott jellemző esetén az szélső, maximális vagy minimális határérték (esetleg tartomány), amelynek átlépése az alkatelem visszafordíthatatlan károsodásához vezethet. Az elektronikai áramkörök tervezésekor szigorúan tilos határértékekre méretezni, de célszerű figyelembe venni a legkedvezőtlenebb esetet (*worst case scenario*), amit az alkatelem jellemzőinek szórása és a külső, környezeti hatások lehető legrosszabb kombinációja határoz meg. Bizonyos gyártók adatlapjaiban a *Maximum Ratings* vagy *Limiting Values* megnevezéssel szerepel. Az alkatelemek jellemzőit a határértékkel szemben, a gyártástechnológiai szórás miatt, mindig egy szűk tartományra szokták megadni. Ezek a jellemzők üzemi körülmények között teljesülnek, míg a határértékeket üzemi körülmények között sohasem érjük el. Az adatlapon az adott jellemző típusa szerint szoktuk őket csoportosítani, a két legfontosabb kategória az elektromos és a termikus. Egy alkatelem jellemzői lehetnek az áramerősség, nyítófeszültség, teljesítmény, tűrés, dielektromos együttható, átütési szilárdság, ellenállás, kapacitás, induktivitás, fényerősség, hullámhossz tartomány, válaszidő stb.

Electrical Characteristics (*Elektromos jellemzők*):

Ez a címszó alatt az alkatelem elektromos természetű (szivárgási áramerősség, nyítófeszültség, teljesítmény, ellenállás, kapacitás, induktivitás, tűrés, dielektromos együttható, átütési szilárdság stb.) jellemzőinek tipikus értékeit szokták megadni. Amennyiben fényérzékeny vagy fénykibocsátó alkatelemekről van szó, az optikai jellemzőket (hullámhossz tartomány, érzékenység, stb.) az elektromos jellemzőkkel egyszerre szokás megadni.

Thermal Characteristics (*Hőmérséklettel kapcsolatos információk*):

Ez a címszó alatt az alkatelem hőmérséklettel kapcsolatos információkat találjuk, azaz a gyártó itt adja meg a környezeti hőmérséklet befolyását az alkatelem jellemzőire, illetve azokat a releváns adatokat amelyek azt szemléltetik, hogy az alkatelem hogyan tudja átadni a működés során termelt, felgyülemlett hőmennyiséget a külső környezetének. Itt szokták feltüntetni azt is, hogy szükséges az eszközt hűtőbordára szerelni vagy sem.

Typical Characteristics (*Jelleggörbék, karakterisztika seregek*):

Mivel az alkatelemek valamely más tesztparaméter függvényei, ezért a táblázatos forma helyett gyakran előnyben részesítik a grafikus megjelenítést. Erre egy nagyon jó példa a világítódiódák fényerejének hullámhosszfüggése, a tranzisztorok bemeneti-, kimenti. vagy átviteli karakterisztikái stb. Bizonyos gyártók adatlapjaiban a *Graphical Data* vagy *Typical Performance Characteristics* megnevezéssel szerepel.

Application Informations (*Alkalmazási példák*):

Ez a címszó bizonyos gyártók adatlapjaiban a *Typical Applications* vagy *Applications Notes* megnevezéssel is szerepelhet. Az *Applications* címszónál a gyártó részletesebb alkalmazási

példákat ad meg kapcsolási rajz és leírás formájában, szemléltetve, hogy egy-egy elektronikai problémát milyen áramköri elrendezésben lehet megoldani.

Mechanical Data (*Mechanikai adatok*):

Ez a fejezet az alkatelemre vonatkozó mechanikai adatokat tartalmazza és nagyon fontos a nyomtatott áramkörök készítési folyamatában és az alkatelemek beforrasztási folyamatában. Itt találjuk nézeti ábrázolással megadva az adott alkatrészt beméretezve. Bizonyos gyártók adatlapjaiban a *Package Dimensions*, *Packaging Information* vagy *Physical Dimensions* megnevezéssel szerepel.

Ordering Information (*Rendelési információk*, *Kódolás*):

Amennyiben a gyártó terméklistájában ugyanabból az alkatelemből több fajta is létezik, az adatlap ezen címszava alatt tudhatjuk meg, hogy melyik konkrét típust, milyen jellegzetes tulajdonságokkal ellátva, milyen jelzéssel (kódszámmal), milyen tokozásban és milyen kiszerelésben tudjuk megrendelni. Áltblában több betű és szám kombinációja jelzi az említett azonosítási paramétereket. Ez a címszó bizonyos gyártók adatlapjaiban a *Part Numbering System* megnevezéssel szerepel.

Disclaimer (*Korlátozott felelősségi nyilatkozat*):

Ez a fejezet egyfajta jogi nyilatkozat, amelyben jellegzetesen a gyártó cég kijelenti, hogy:

a) bármelyik terméke vagy termék jellemzője változhat előzetes bejelentés nélkül

b) nem vállal felelősséget az adatlapban található hibákért, pontatlanságokért és hiányosságokért

c) a legyártott alkatelemek a személyes, kereskedelmi vagy ipari alkalmazások jellegzetes elvárásainak felelnek meg

d) alkatelemeit nem életmentő vagy életfenntartó berendezések számára tervezték, ezért az azokban történő felhasználás és az esetleges meghibásodásokból következő károkért, sérülésekért vagy elhalálozásért nem vállal felelősséget

e) a felhasználó kötelezettsége olyan módon felhasználni a gyártó termékeit, hogy az a munka- és környezetvédelmi, illetve tűzrendészeti előírásoknak megfeleljen

f) a gyártó jótállása és felelősségvállalása érvényét veszti, ha az alkatelem nem az előírásoknak megfelelően lett felhasználva

g) az adatlapban található információk elsődleges célja a termék beazonosítása és a vásárlás megkönnyítése

Material Category Policy (*Egészség-, illetve környezetvédelmi nyilatkozat*):

Ez a címszó alatt a gyártó cég kijelenti, hogy termékei megfelelnek az egészségügyi- és a környezetvédelmi szabványoknak és előírásoknak.

Revision History (*Felülvizsgálati jelentés*):

Sokszor előfordul, hogy egy adott alkatelemből különböző verziók vannak jelen a piacon. Ezek minimálisan eltérhetnek egymástól, azonban a gyártó csak egy adatlapot adott ki. Az adatlap ezen címszava alatt szokták kifejteni az azonos típusú alkatelemek közötti eltéréseket.

Schematic Diagram (*Kapcsolási rajz*):

A fejezet egy integrált áramkör részletes (alkatelemes) belső kapcsolási rajzát szemlélteti. Amennyiben a *Functional Block diagram* címszó jelenik meg, akkor a fejezet az integrált áramkör működési alegységes belső kapcsolási rajzát szemlélteti.

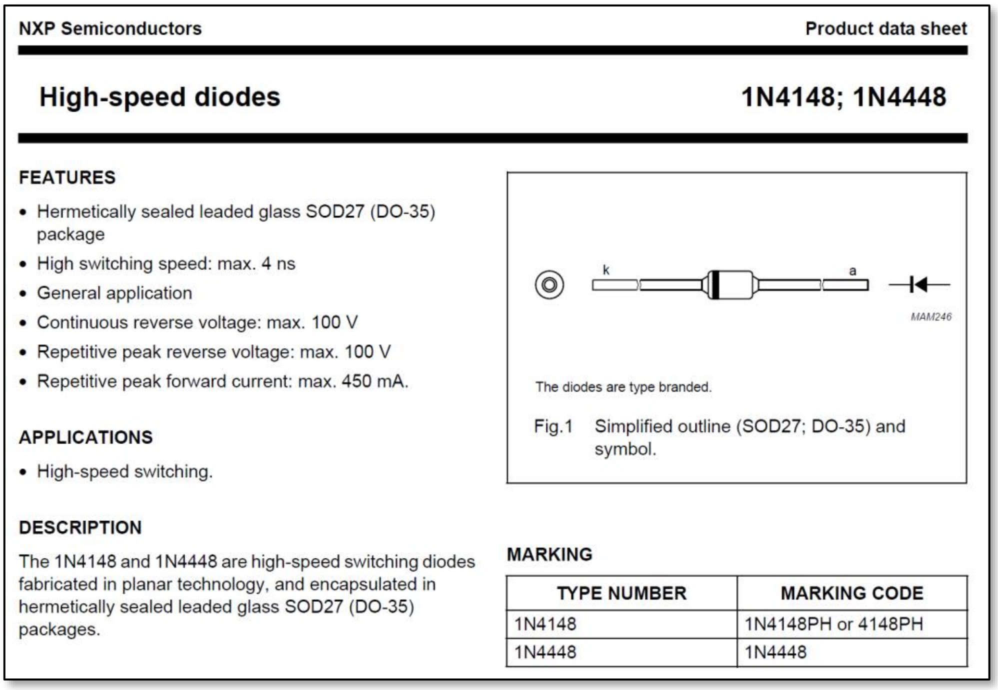
Truth tables (*Igazságtáblázat*):

Kombinációs és szekvenciális logikai áramkörök esetén a gyártó megadja a független változók minden egyes értékkombinációjához a függvény által hozzárendelt függő változó értékét. Bizonyos gyártók adatlapján a *Function tables* elnevezés használatos.

Timing diagram (*Idődiagramok*):

A különböző időfüggő funkciókhoz tartozó jelállapotokat, időzítéseket, válaszidőket, késleltetéseket tartalmazza.

A továbbiakban a fentebb felsorolt címszavakat szemléltetjük, különböző gyártók és többféle alkatelem számára.



NXP Semiconductors — **Product data sheet**

High-speed diodes — **1N4148; 1N4448**

FEATURES

- Hermetically sealed leaded glass SOD27 (DO-35) package
- High switching speed: max. 4 ns
- General application
- Continuous reverse voltage: max. 100 V
- Repetitive peak reverse voltage: max. 100 V
- Repetitive peak forward current: max. 450 mA.

APPLICATIONS

- High-speed switching.

DESCRIPTION

The 1N4148 and 1N4448 are high-speed switching diodes fabricated in planar technology, and encapsulated in hermetically sealed leaded glass SOD27 (DO-35) packages.

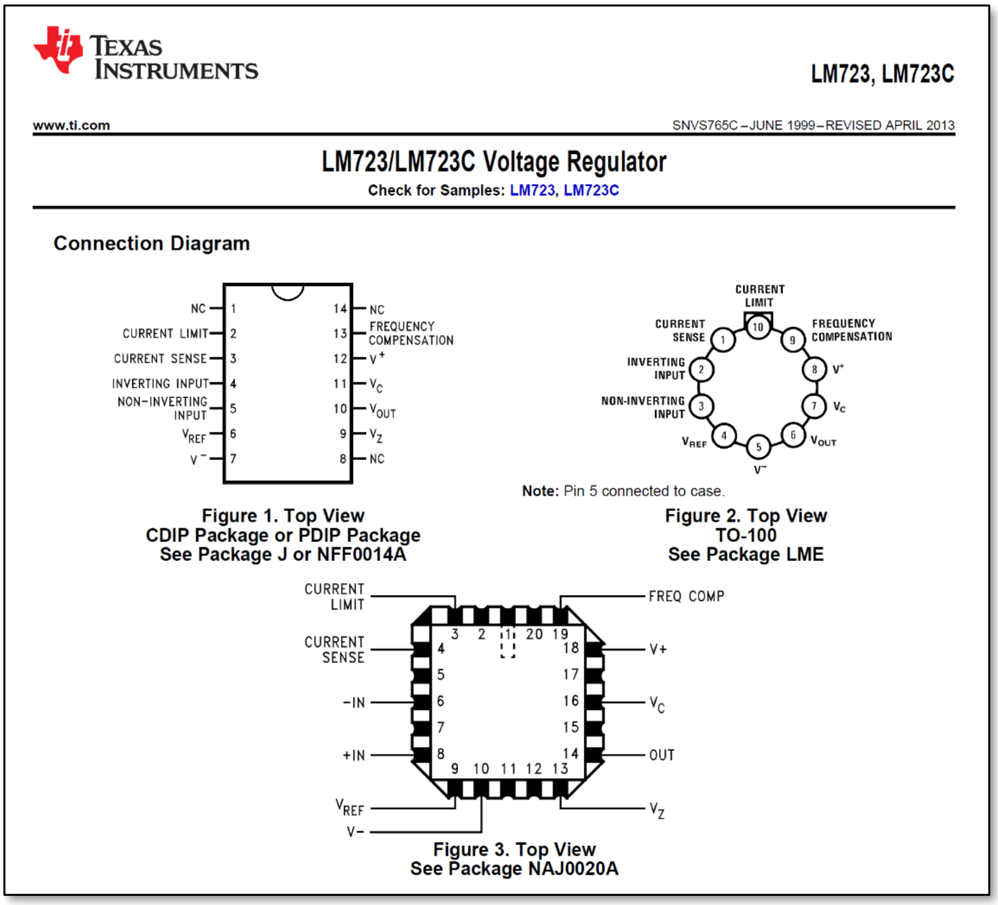
The diodes are type branded.

Fig.1 Simplified outline (SOD27; DO-35) and symbol.

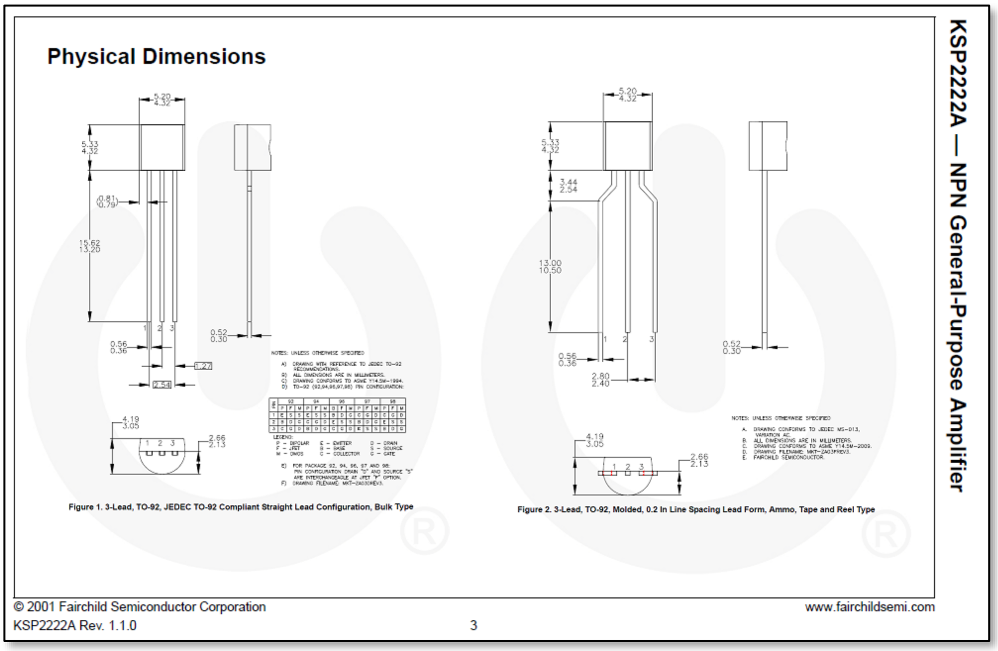
MARKING

TYPE NUMBER	MARKING CODE
1N4148	1N4148PH or 4148PH
1N4448	1N4448

8.1 ábra – A *Description*, *Features* és az *Applications* címszavak az 1N4148 típusjelzésű félvezető dióda számára az NXP Semiconductors gyártó által kiadott adatlapon



8.2 ábra – A *Connection Diagram* az LM723 feszültségstabilizáló IC esetén



8.3 ábra – A 2222A típusjelzésű *npn bipoláris tranzisztorok* méreteinek szemléltetése a *Physical Dimensons* címszó alatt

VISHAY® www.vishay.com

1N4148

Vishay Semiconductors

Small Signal Fast Switching Diodes

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T_{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)				
PARAMETER	**TEST CONDITION**	**SYMBOL**	**VALUE**	**UNIT**
Repetitive peak reverse voltage		V_{RRM}	100	V
Reverse voltage		V_R	75	V
Peak forward surge current	t_p = 1 µs	I_{FSM}	2	A
Repetitive peak forward current		I_{FRM}	500	mA
Forward continuous current		I_F	300	mA
Average forward current	V_R = 0	$I_{F(AV)}$	150	mA
Power dissipation	l = 4 mm, T_L = 45 °C	P_{tot}	440	mW
	l = 4 mm, $T_L \leq$ 25 °C	P_{tot}	500	mW

THERMAL CHARACTERISTICS (T_{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)				
PARAMETER	**TEST CONDITION**	**SYMBOL**	**VALUE**	**UNIT**
Thermal resistance junction to ambient air	l = 4 mm, T_L = constant	R_{thJA}	350	K/W
Junction temperature		T_j	175	°C
Storage temperature range		T_{stg}	- 65 to + 150	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)						
PARAMETER	**TEST CONDITION**	**SYMBOL**	**MIN.**	**TYP.**	**MAX.**	**UNIT**
Forward voltage	I_F = 10 mA	V_F			1	V
Reverse current	V_R = 20 V	I_R			25	nA
	V_R = 20 V, T_j = 150 °C	I_R			50	µA
	V_R = 75 V	I_R			5	µA
Breakdown voltage	I_R = 100 µA, t_p/T = 0.01, t_p = 0.3 ms	$V_{(BR)}$	100			V
Diode capacitance	V_R = 0 V, f = 1 MHz, V_{HF} = 50 mV	C_D			4	pF
Rectification effiency	V_{HF} = 2 V, f = 100 MHz	η_r	45			%
Reverse recovery time	$I_F = I_R$ = 10 mA, i_R = 1 mA	t_{rr}			8	ns
	I_F = 10 mA, V_R = 6 V, i_R = 0.1 x I_R, R_L = 100 Ω	t_{rr}			4	ns

8.4 ábra – Az *Absolute Maximum Rating*, *Thermal Characteristics* és az *Electrical Characteristics* címszavak az 1N4148 típusjelzésű félvezető dióda számára a Vishay gyártó által kiadott adatlapon

FAIRCHILD.

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION, OR DESIGN. TO OBTAIN THE LATEST, MOST UP-TO-DATE DATASHEET AND PRODUCT INFORMATION, VISIT OUR WEBSITE AT HTTP://WWW.FAIRCHILDSEMI.COM. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS. THESE SPECIFICATIONS DO NOT EXPAND THE TERMS OF FAIRCHILD'S WORLDWIDE TERMS AND CONDITIONS, SPECIFICALLY THE WARRANTY THEREIN, WHICH COVERS THESE PRODUCTS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support, device, or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

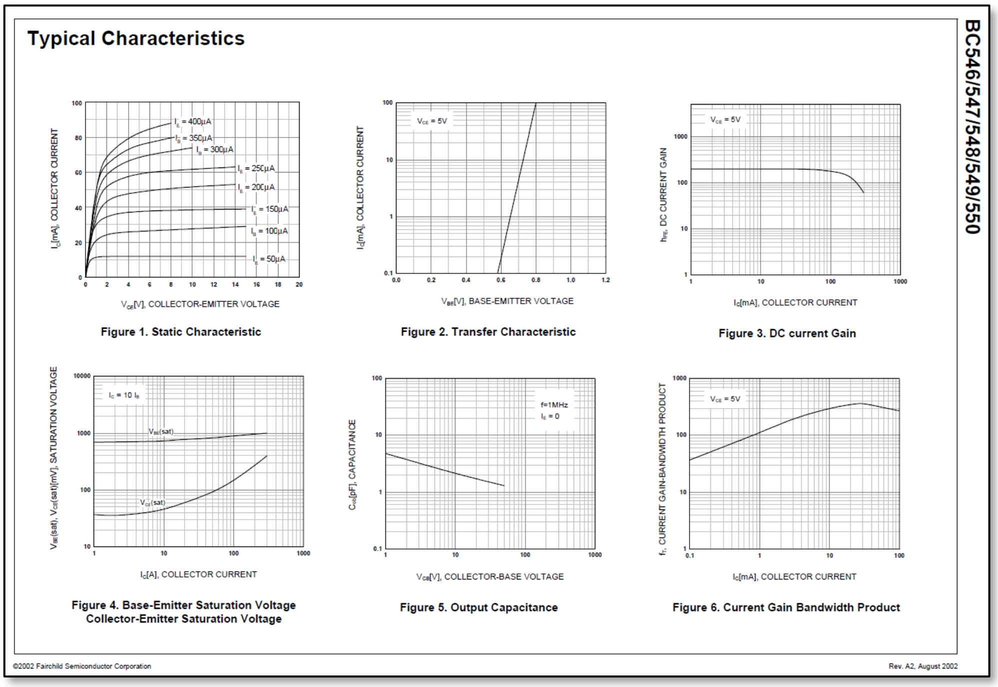
ANTI-COUNTERFEITING POLICY

Fairchild Semiconductor Corporation's Anti-Counterfeiting Policy. Fairchild's Anti-Counterfeiting Policy is also stated on our external website, www.fairchildsemi.com, under Sales Support.

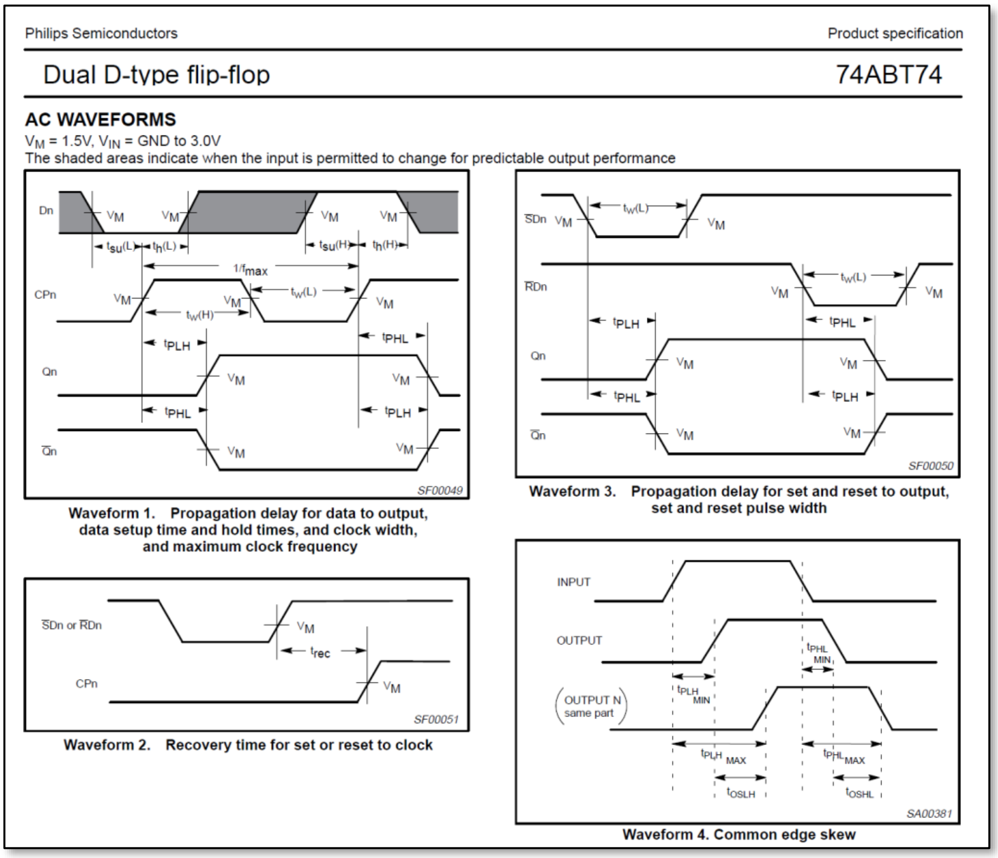
Counterfeiting of semiconductor parts is a growing problem in the industry. All manufacturers of semiconductor products are experiencing counterfeiting of their parts. Customers who inadvertently purchase counterfeit parts experience many problems such as loss of brand reputation, substandard performance, failed applications, and increased cost of production and manufacturing delays. Fairchild is taking strong measures to protect ourselves and our customers from the proliferation of counterfeit parts. Fairchild strongly encourages customers to purchase Fairchild parts either directly from Fairchild or from Authorized Fairchild Distributors who are listed by country on our web page cited above. Products customers buy either from Fairchild directly or from Authorized Fairchild Distributors are genuine parts, have full traceability, meet Fairchild's quality standards for handling and storage and provide access to Fairchild's full range of up-to-date technical and product information. Fairchild and our Authorized Distributors will stand behind all warranties and will appropriately address any warranty issues that may arise. Fairchild will not provide any warranty coverage or other assistance for parts bought from Unauthorized Sources. Fairchild is committed to combat this global problem and encourage our customers to do their part in stopping this practice by buying direct or from authorized distributors.

© Fairchild Semiconductor Corporation www.fairchildsemi.com

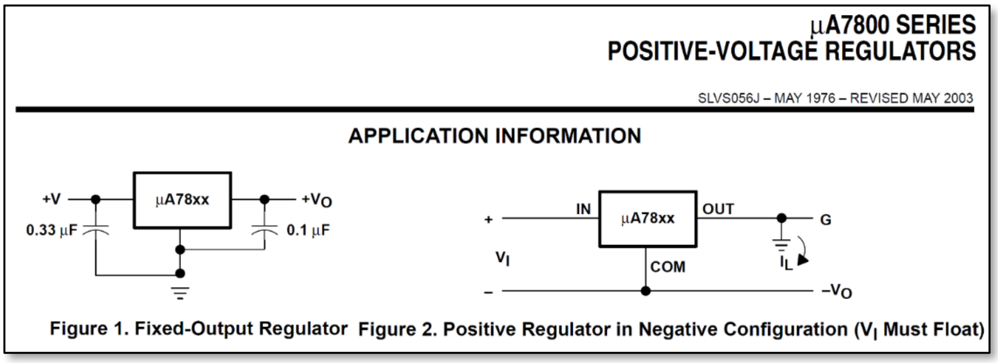
8.5 ábra – A Fairchild gyártó által kiadott adatlapok *Disclaimer* része



8.6 ábra – A *Typical Characteristics* címszó alatt megadott jelleggörbék és karakterisztika seregek a BC546, BC547, BC548, BC549, BC550 típusjelzésű *npn bipoláris tranzisztorok*-nál



8.7 ábra – A Philips Semiconductors D típusú flip-flopjainak *Timing diagram* részletei



8.8 ábra – Az *Application Information* fejezetnél szemléltetett alkalmazási példák a µA7800-as családhoz tartozó feszültségstabilizáló IC számára

VISHAY. **MBA/SMA 0204, MBB/SMA 0207, MBE/SMA 0414 - Professional**

www.vishay.com

Vishay Beyschlag

HISTORICAL 12NC INFORMATION

- The resistors had a 12-digit numeric code starting with 2312
- The subsequent 4 digits indicated the resistor type, specification and packaging; see the 12NC table
- The remaining 4 digits indicated the resistance value:
  - the first 3 digits indicated the resistance value
  - the last digit indicated the resistance decade in accordance with resistance decade table

Resistance Decade

RESISTANCE DECADE	LAST DIGIT
0.1 Ω to 0.999 Ω	7
1 Ω to 9.99 Ω	8
10 Ω to 99.9 Ω	9
100 Ω to 999 Ω	1
1 kΩ to 9.99 kΩ	2
10 kΩ to 99.9 kΩ	3
100 kΩ to 999 kΩ	4
1 MΩ to 9.99 MΩ	5
10 MΩ to 99.9 MΩ	6

Historical 12NC Example

The 12NC code of a MBA 0204 resistor, value 47.5 kΩ and TCR 50 with ± 1 % tolerance, supplied on bandolier in a box of 5000 units was: 2312 905 14753.

HISTORICAL 12NC - Resistor Type and Packaging

DESCRIPTION			2312				
			AMMOPACK		REEL		
TYPE	TCR	TOL.	C1 1000 units	CT 5000 units	R1 1000 units	R2 2500 units	RP 5000 units
MBA 0204	± 50 ppm/K	± 5 %	900 3....	905 3....	700 3....	-	805 3....
		± 1 %	900 1....	905 1....	700 1....	-	805 1....
		± 0.5 %	900 5....	905 5....	700 5....	-	805 5....
	± 25 ppm/K	± 1 %	901 1....	906 1....	701 1....	-	806 1....
		± 0.5 %	901 5....	906 5....	701 5....	-	806 5....
	Jumper	-	900 90001	905 90001	700 90001	-	805 90001
MBB 0207	± 50 ppm/K	± 5 %	910 3....	915 3....	710 3....	-	815 3....
		± 1 %	910 1....	915 1....	710 1....	-	815 1....
		± 0.5 %	910 5....	915 5....	710 5....	-	815 5....
	± 25 ppm/K	± 1 %	911 1....	916 1....	711 1....	-	816 1....
		± 0.5 %	911 5....	916 5....	711 5....	-	816 5....
	Jumper	-	910 90001	915 90001	710 90001	-	815 90001
MBE 0414	± 50 ppm/K	± 5 %	920 3....	-	-	825 3....	-
		± 1 %	920 1....	-	-	825 1....	-
		± 0.5 %	920 5....	-	-	825 5....	-
	± 25 ppm/K	± 1 %	921 1....	-	-	826 1....	-
		± 0.5 %	921 5....	-	-	826 5....	-

Revision: 19-Nov-15 14 Document Number: 28766

For technical questions, contact: filmresistorsleaded@vishay.com

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000

8.9 ábra – A *Revision History*-nál feltüntetett részletek a Vishay ellenállások számára

NXP Semiconductors

74HC107; 74HCT107

Dual JK flip-flop with reset; negative-edge trigger

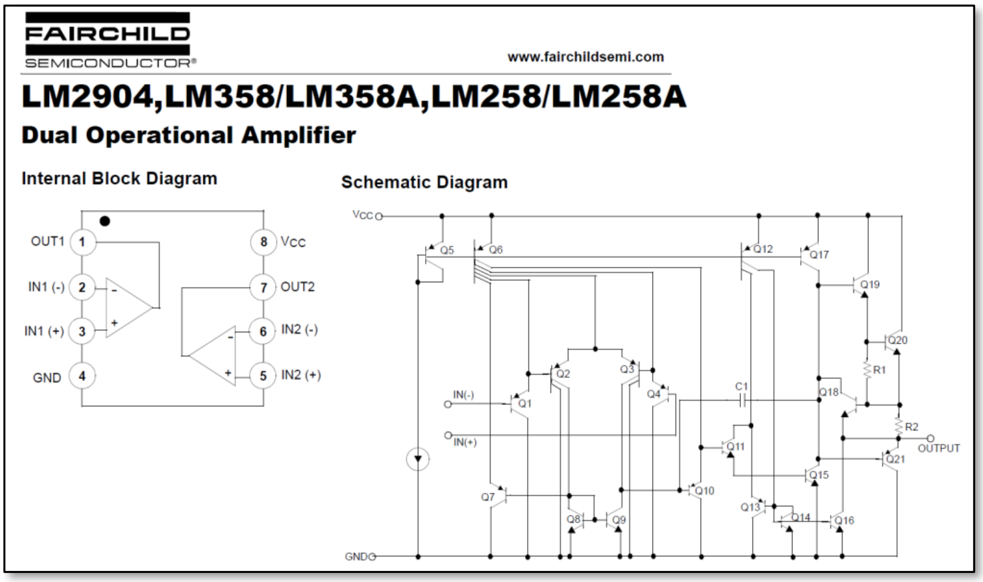
6. Functional description

Table 3. Function table[1]

Input				Output		Operating mode
$\overline{R}$	$\overline{CP}$	J	K	Q	$\overline{Q}$	
L	X	X	X	L	H	asynchronous reset
H	↓	h	h	$\overline{q}$	q	toggle
H	↓	l	h	L	H	load 0 (reset)
H	↓	h	l	H	L	load 1 (set)
H	↓	l	l	q	$\overline{q}$	hold (no change)

[1] H = HIGH voltage level;
h = HIGH voltage level one set-up time prior to the HIGH-to-LOW clock transition;
L = LOW voltage level;
l = LOW voltage level one set-up time prior to the HIGH-to-LOW clock transition;
q = state of referenced output one set-up time prior to the HIGH-to-LOW clock transition;
X = don't care;
↓ = HIGH-to-LOW clock transition.

8.10 ábra – *Function table* részletek JK flip-flop számára az NXP Semiconductors adatlapján



8.11 ábra – A *Schematic Diagram* részletei az LM2904, LM358, LM258 műveleti erősítőknél

BC546B, BC547A, B, C, BC548B, C

Amplifier Transistors

NPN Silicon

ON Semiconductor®

http://onsemi.com

BC546B, BC547A, B, C, BC548B, C

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
BC546B	TO−92	5000 Units / Bulk
BC546BG	TO−92 (Pb−Free)	5000 Units / Bulk
BC546BRL1	TO−92	2000 / Tape & Reel
BC546BRL1G	TO−92 (Pb−Free)	2000 / Tape & Reel
BC546BZL1G	TO−92 (Pb−Free)	2000 / Ammo Box
BC547ARL	TO−92	2000 / Tape & Reel
BC547ARLG	TO−92 (Pb−Free)	2000 / Tape & Reel
BC547AZL1G	TO−92 (Pb−Free)	2000 / Ammo Box
BC547BG	TO−92 (Pb−Free)	5000 Units / Bulk
BC547BRL1G	TO−92 (Pb−Free)	2000 / Tape & Reel
BC547BZL1G	TO−92 (Pb−Free)	2000 / Ammo Box
BC547CG	TO−92 (Pb−Free)	5000 Units / Bulk
BC547CZL1G	TO−92 (Pb−Free)	2000 / Ammo Box
BC548BG	TO−92 (Pb−Free)	5000 Units / Bulk
BC548BRL1G	TO−92 (Pb−Free)	2000 / Tape & Reel
BC548BZL1G	TO−92 (Pb−Free)	2000 / Ammo Box
BC548CG	TO−92 (Pb−Free)	5000 Units / Bulk
BC548CZL1G	TO−92 (Pb−Free)	2000 / Ammo Box

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

8.12 ábra – Az *Ordering Information* címszó alatt szemléltetett tokozási és kiszerelési részletek a BC546, BC547, BC548, BC549, BC550 típusjelzésű *npn bipoláris tranzisztorok*-nál

MBA/SMA 0204, MBB/SMA 0207, MBE/SMA 0414 - Professional

VISHAY.

www.vishay.com

Vishay Beyschlag

Professional Metal Film Leaded Resistors

MATERIALS

Vishay acknowledges the following systems for the regulation of hazardous substances:

- IEC 62474, Material Declaration for Products of and for the Electrotechnical Industry, with the list of declarable substances given therein [(1)]
- The Global Automotive Declarable Substance List (GADSL) [(2)]
- The REACH regulation (1907/2006/EC) and the related list of substances with very high concern (SVHC) [(3)] for its supply chain

The products do not contain any of the banned substances as per IEC 62474, GADSL, or the SVHC list, see www.vishay.com/how/leadfree.

Hence the products fully comply with the following directives:

- 2000/53/EC End-of-Life Vehicle Directive (ELV) and Annex II (ELV II)
- 2011/65/EU Restriction of the Use of Hazardous Substances Directive (RoHS) with amendment 2015/863/EU
- 2012/19/EU Waste Electrical and Electronic Equipment Directive (WEEE)

Vishay pursues the elimination of conflict minerals from its supply chain, see the Conflict Minerals Policy at www.vishay.com/doc?49037.

- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912

Pb-free

RoHS COMPLIANT

HALOGEN FREE

Material Category Policy

Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as RoHS-Compliant fulfill the definitions and restrictions defined under Directive 2011/65/EU of The European Parliament and of the Council of June 8, 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (EEE) - recast, unless otherwise specified as non-compliant.

Please note that some Vishay documentation may still make reference to RoHS Directive 2002/95/EC. We confirm that all the products identified as being compliant to Directive 2002/95/EC conform to Directive 2011/65/EU.

Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as Halogen-Free follow Halogen-Free requirements as per JEDEC JS709A standards. Please note that some Vishay documentation may still make reference to the IEC 61249-2-21 definition. We confirm that all the products identified as being compliant to IEC 61249-2-21 conform to JEDEC JS709A standards.

8.13 ábra – A *Material Category Policy* részletei a Vishay gyártó esetén

9. NÉVLEGES ÉRTÉKSOROK

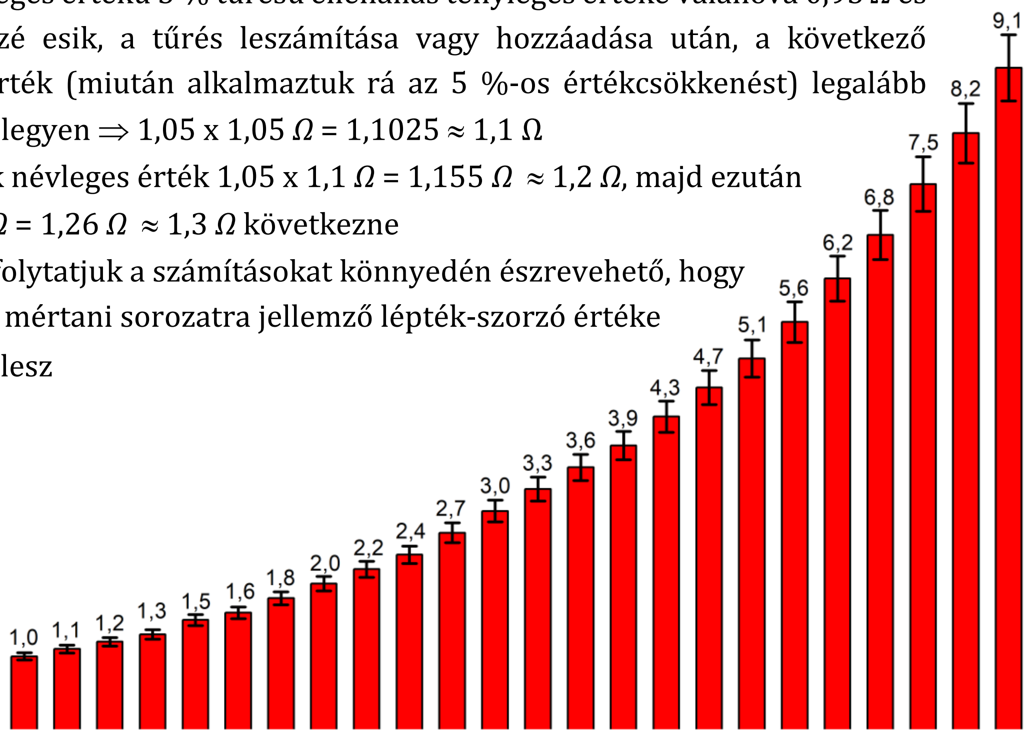
Azt, hogy az ellenállásoknak, kondenzátoroknak vagy tekercseknek milyen névleges értékük és értéktűrésük legyen, a Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság (*IEC*) szabványosítja. A jelenleg érvényben levő szabvány az IEC 60063:2015 jelzést viseli.

A szabványos értéksorok tagjai egy mértani sorozat elemei, tehát az egymás utáni tagokat egy állandó számmal megszorozva kapjuk meg. A sor tagjait a nagyságrendnek megfelelően 10-nek a hatványaival is meg kell szorozni (12 lehetséges nagyságrendet használunk, 10^{-2} és 10^{+9} között). Ellenállások számára a sor első értéke az 1 *Ω* és a nagyságrendi szorzó összeszorzásával kapott érték lesz, majd a tűrés megadja a legkisebb, illetve a legnagyobb ellenállásértéket és értelemszerűen megkapjuk a lehetséges értéktartományt. A következő névleges értéket úgy határozzák meg, hogy annak lehetséges értéktartománya ne fedje át ezt a tartományt.

A jelenleg szabványosított 8 értéksor közül *E1*, *E3*, *E6*, *E12* és *E24* sorok értékeit egy tizedessel, az *E48*, *E96* és *E192* értéksorokét pedig 2 tizedessel adják meg. Megjegyzendő, hogy az E1-es sornak csak történelmi jelentősége van, az *E3*-as és *E6*-os sorokhoz rendelt igen széles értéktűrési tartomány pedig kiszorította a két értéksorhoz tartozó elemeket a kereskedelmileg hozzáférhető és felhasználható értékek közül.

Szemléltető példa és magyarázatok az 5 %-os tűrésű (E24) értéksor esetén:

- E = IEC 60063 szabványnak megfelelő értéksor jele
- 24 = egy dekádon belül ennyi érték létezik (dekád = 10-szeres értékek tartománya)
- az 1 *Ω* névleges értékű 5 % tűrésű ellenállás tényleges értéke valahová 0,95 *Ω* és 1,05 *Ω* közé esik, a tűrés leszámítása vagy hozzáadása után, a következő névleges érték (miután alkalmaztuk rá az 5 %-os értékcsökkenést) legalább 1,05 Ω kell legyen ⇒ 1,05 x 1,05 *Ω* = 1,1025 ≈ 1,1 Ω
- a harmadik névleges érték 1,05 x 1,1 *Ω* = 1,155 *Ω* ≈ 1,2 *Ω*, majd ezután 1,05 x 1,2 *Ω* = 1,26 *Ω* ≈ 1,3 *Ω* következne
- ha tovább folytatjuk a számításokat könnyedén észrevehető, hogy a kialakuló mértani sorozatra jellemző lépték-szorzó értéke $\sqrt[24]{10}$ = 1,1 lesz



9.1 ábra – Az E24 értéksor alapértékei és tűrésük

Az E1, E3, E6, E12, E24, E48, E96 és E192 értéksorok lehetséges alapértékei

E1 (nincs lépték és tűrés, történelmi jelentőség): 1,0

E3 (lépték = $\sqrt[3]{10}$, tűrés > ± 20 %): 1,0; 2,2; 4,7

E6 (lépték = $\sqrt[6]{10}$, tűrés ± 20 %): 1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8

E12 (lépték = $\sqrt[12]{10}$, tűrés ± 10 %): 1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2

E24 (lépték = $\sqrt[24]{10}$, tűrés ± 5 %): 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,7; 3,0; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1

E48 (lépték = $\sqrt[48]{10}$, tűrés ± 2 %): 1,00; 1,05; 1,10; 1,15; 1,21; 1,27; 1,33; 1,40; 1,47; 1,54; 1,62; 1,69; 1,78; 1,87; 1,96; 2,05; 2,15; 2,26; 2,37; 2,49; 2,61; 2,74; 2,87; 3,01; 3,16; 3,32; 3,48; 3,65; 3,83; 4,02; 4,22; 4,42; 4,64; 4,87; 5,11; 5,36; 5,62; 5,90; 6,19; 6,49; 6,81; 7,15; 7,50; 7,87; 8,25; 8,66; 9,09; 9,53

E96 (lépték = $\sqrt[96]{10}$, tűrés ± 1 %): 1,00; 1,02; 1,05; 1,07; 1,10; 1,13; 1,15; 1,18; 1,21; 1,24; 1,27; 1,30; 1,33; 1,37; 1,40; 1,43; 1,47; 1,50; 1,54; 1,58; 1,62; 1,65; 1,69; 1,74; 1,78; 1,82; 1,87; 1,91; 1,96; 2,00; 2,05; 2,10; 2,15; 2,21; 2,26; 2,32; 2,37; 2,43; 2,49; 2,55; 2,61; 2,67; 2,74; 2,80; 2,87; 2,94; 3,01; 3,09; 3,16; 3,24; 3,32; 3,40; 3,48; 3,57; 3,65; 3,74; 3,83; 3,92; 4,02; 4,12; 4,22; 4,32; 4,42; 4,53; 4,64; 4,75; 4,87; 4,99; 5,11; 5,23; 5,36; 5,49; 5,62; 5,76; 5,90; 6,04; 6,19; 6,34; 6,49; 6,65; 6,81; 6,98; 7,15; 7,32; 7,50; 7,68; 7,87; 8,06; 8,25; 8,45; 8,66; 8,87; 9,09; 9,31; 9,53; 9,76

E192 (lépték = $\sqrt[192]{10}$, tűrés ≤ ± 0,5 %): 1,00; 1,01; 1,02; 1,04; 1,05; 1,06; 1,07; 1,09; 1,10; 1,11; 1,13; 1,14; 1,15; 1,17; 1,18; 1,20; 1,21; 1,23; 1,24; 1,26; 1,27; 1,29; 1,30; 1,32; 1,33; 1,35; 1,37; 1,38; 1,40; 1,42; 1,43; 1,45; 1,47; 1,49; 1,50; 1,52; 1,54; 1,56; 1,58; 1,60; 1,62; 1,64; 1,65; 1,67; 1,69; 1,72; 1,74; 1,76; 1,78; 1,80; 1,82; 1,84; 1,87; 1,89; 1,91; 1,93; 1,96; 1,98; 2,00; 2,03; 2,05; 2,08; 2,10; 2,13; 2,15; 2,18; 2,21; 2,23; 2,26; 2,29; 2,32; 2,34; 2,37; 2,40; 2,43; 2,46; 2,49; 2,52; 2,55; 2,58; 2,61; 2,64; 2,67; 2,71; 2,74; 2,77; 2,80; 2,84; 2,87; 2,91; 2,94; 2,98; 3,01; 3,05; 3,09; 3,12; 3,16; 3,20; 3,24; 3,28; 3,32; 3,36; 3,40; 3,44; 3,48; 3,52; 3,57; 3,61; 3,65; 3,70; 3,74; 3,79; 3,83; 3,88; 3,92; 3,97; 4,02; 4,07; 4,12; 4,174,22; 4,27; 4,32; 4,37; 4,42; 4,48; 4,53; 4,59; 4,64; 4,70; 4,75; 4,81; 4,87; 4,93; 4,99; 5,05; 5,11; 5,17; 5,23; 5,30; 5,36; 5,42; 5,49; 5,56; 5,62; 5,69; 5,76; 5,83; 5,90; 5,90; 6,04; 6,12; 6,19; 6,26; 6,34; 6,42; 6,49; 6,57; 6,65; 6,73; 6,81; 6,90; 6,98; 7,06; 7,15; 7,23; 7,32; 7,41; 7,50; 7,59; 7,68; 7,77; 7,87; 7,96; 8,06; 8,16; 8,25; 8,35; 8,45; 8,56; 8,66; 8,76; 8,87; 8,98; 9,09; 9,20; 9,31; 9,42; 9,53; 9,65; 9,76; 9,88

Ellenállások esetén, a szakmai gyakorlat szerint előforduló névleges értékek bármelyik értéksorból származhatnak.

A kondenzátorok legelterjedtebb kereskedelmi értékeit az alábbiakban adjuk meg, a jellegzetes értéktűrések lehetnek ± 5 %, ± 10 % vagy ± 20 %:

a *pF*-os tartomány				a *μF*-os tartomány						
1	10	100	1000	0,01	0,1	1	10	100	1000	10000
	12	120	1200	0,012	0,12	1,2	12	120	1200	12000
1,5	15	150	1500	0,015	0,15	1,5	15	150	1500	15000
	18	180	1800	0,018	0,18	1,8	18	180	1800	18000
2	20	200	2000	0,02	0,2	2	20	200	2000	20000
	22	220	2200	0,022	0,22	2,2	22	220	2200	22000
	27	270	2700	0,027	0,27	2,7	27	270	2700	27000
3	33	330	3300	0,033	0,33	3,3	33	330	3300	33000
4	39	390	3900	0,039	0,39	3,9	39	390	3900	39000
5	47	470	4700	0,047	0,47	4,7	47	470	4700	47000
6	51	510	5100	0,051	0,51	5,1	51	510	5100	51000
7	56	560	5600	0,056	0,56	5,6	56	560	5600	56000
8	68	680	6800	0,068	0,68	6,8	68	680	6800	68000
9	82	820	8200	0,082	0,82	8,2	82	820	8200	82000

Ha a felsorolt értékektől eltérőre lenne szükségünk, a megoldást a kondenzátortelep jelenti, vagyis a rendelkezésünkre álló kondenzátorok megfelelő csatlakoztatásával kapjuk meg a kívánt éteket.

Az alábbiakban összefoglaljuk a szakmai gyakorlatban előforduló tekercsek önindukciós tényezőjének kereskedelemi értékeit, a jellegzetes értéktűrés pedig ± 5 % vagy ± 10 % lehet:

a *nH*-s tartományban			*a μH*-s tartományban			a *mH*-s tartományban		
1	10	100	1	10	100	1	10	100
1,2	12	120	1,2	12	120	1,2	12	
1,5	15	150	1,5	15	150	1,5	15	
1,8	18	180	1,8	18	180	1,8	18	
2	20	200	2	20	200	2	20	
2,2	22	220	2,2	22	220	2,2	22	
2,7	27	270	2,7	27	270	2,7	27	
3	33	330	3,3	33	330	3,3	33	
4	39	390	3,9	39	390	3,9	39	
5	47	470	4,7	47	470	4,7	47	
6	51	510	5,1	51	510	5,1	51	
7	56	560	5,6	56	560	5,6	56	
8	68	680	6,8	68	680	6,8	68	
9	82	820	8,2	82	820	8,2	82	

10. SI PREFIXUMOK AZ ELEKTRONIKÁBAN

A Mértékegységek Nemzetközi Rendszerében (*SI*) a prefixumokat (előtétszókat vagy előtagokat) szoktak használni a nagyon nagy vagy a nagyon kicsi mennyiségek rövidített leírására. Ez könnyebb és egyértelműbb áttekinthetőséget biztosít. Leginkább a tíznek hárommal osztható kitevőjű hatványainak rövidítése használatos (10^{-24}-től a 10^{+24}-ig), de természetesen léteznek hárommal nem osztható hatványkitevőjű prefixumok is (10^{-2}, 10^{-1}, 10^{+1}, 10^{+2}).

A prefixumok, ha nem is a teljes szabványosított skálában használjuk őket, az elektronikában is szükségesek lesznek hiszen a rezisztencia 1 Ω mértékegysége túl kicsinek bizonyul a gyakorlatban, a kapacitás mértékegységére a 1 F, illetve az induktivitás számára a 1 H vagy a megjelenő áramok áramerősségére az 1 A, már túl nagy mértékegységeknek bizonyultak.

Az alábbiakban felsoroljuk a Mértékegységek Nemzetközi Rendszerében szabványosított előtagokat, kiemelve azokat, amelyek az elektronikában is elterjedtek.

Törtrészek	**előtag**	**jele**	**értéke**	**neve**	
	deci -	d	10^{-1}	tized	
	centi -	c	10^{-2}	század	
	milli -	m	10^{-3}	ezred	(Pld.: mA)
	mikro -	µ	10^{-6}	milliomod	(Pld.: μH)
	nano -	n	10^{-9}	ezermilliomod	(Pld.: nF)
	piko -	p	10^{-12}	billiomod	(Pld.: pF)
	femto -	f	10^{-15}	ezerbilliomod	
	atto -	a	10^{-18}	trilliomod	
	zepto -	z	10^{-21}	ezertrilliomod	
	yocto -	y	10^{-24}	kvadrilliomod	

Többszörösök	**előtag**	**jele**	**értéke**	**neve**	
	deka -	da	10^{1}	tíz	
	hekto -	h	10^{2}	száz	
	kilo -	k	10^{3}	ezer	(Pld.: $k\Omega$)
	mega -	M	10^{6}	millió	(Pld.: $M\Omega$)
	giga -	G	10^{9}	milliárd	
	tera -	T	10^{12}	billió	
	peta -	P	10^{15}	ezerbillió	
	exa -	E	10^{18}	trillió	
	zetta -	Z	10^{21}	ezertrillió	
	yotta -	Y	10^{24}	kvadrillió	

11. SZABVÁNYOSÍTOTT SÁVOS SZÍNKÓDOK

Az ellenállások, kondenzátorok vagy tekercsek névleges értékének, illetve számos más paraméterének (tűrés, hőmérsékleti együttható, névleges feszültség stb.) színkódos jelölését a Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság (*IEC*) szabványosítja. A jelenleg érvényben levő szabvány az IEC 60062:2016 jelzést viseli.

ELLENÁLLÁSOK SZÍNKÓDJAI 

Sávszín	Első sáv = számérték	Második sáv = számérték	Harmadik = szorzó	Negyedik sáv = értéktűrés	Ötödik sáv = TC **
ha hiányzik	–	–	–	± 20	–
rózsaszín	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	–	–
ezüst	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	± 10	–
arany	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	± 5	–
fekete	1	1	1	–	± 250
barna	10^{1}	10^{1}	10^{1}	± 1	± 100
piros	10^{2}	10^{2}	10^{2}	± 2	± 50
narancs	10^{3}	10^{3}	10^{3}	± 0,05	± 15
sárga	10^{4}	10^{4}	10^{4}	± 0,02	± 25
zöld	10^{5}	10^{5}	10^{5}	± 0,5	± 20
kék	10^{6}	10^{6}	10^{6}	± 0,25	± 10
lila	10^{7}	10^{7}	10^{7}	± 0,1	± 5
szürke	10^{8}	10^{8}	10^{8}	± 0,01	± 1
fehér	10^{9}	10^{9}	10^{9}	–	–

* a mért érték maximális megengedett eltérése a névleges értéktől %-ban kifejezve, a 3 sávosnál ez minimum 5 %

** hőmérsékleti együttható, vagyis az egységnyi hőmérsékletváltozásra jutó relatív ellenállásváltozás *ppm*-ben kifejezve (*ppm* = *part per million* = milliomodrész, 1 *ppm* = 10^{-6})

KONDENZÁTOROK SZÍNKÓDJAI 

Sávszín	Érték	Szorzó	Értéktűrés (*)	Értéktűrés (**)	TC (***)	Névleges feszültség *** fóliás csillám	fóliás műanyag	elektrolitikus tantál	elektrolitikus 4 sáv	elektrolitikus 3 sáv
ezüst	–	–	± 10	–	–	–	–	–	–	–
arany	–	–	± 5	–	–	–	–	–	–	–
fekete	0	1	± 20	± 2	–	100	–	4	10	10
barna	1	10^1	± 1	± 0,1	– 33	200	100	6	1,6	–
piros	2	10^2	± 2	± 0,25	– 75	300	250	10	4	35
narancs	3	10^3	± 3	–	– 150	400		15	40	–
sárga	4	10^4	± 4	–	– 220	500	400	20	6,3	6
zöld	5	10^5	± 5	± 0,5	– 330	600		25	16	15
kék	6	10^6	–	–	– 470	700	630	35		20
lila	7	10^7	–	–	– 750	800	–	50	–	–
szürke	8	–	+ 80 / – 20		+ 30	900	–	–	25	25
fehér	9	–	± 10	± 1	+ 500	1000	–	–	2,5	3

* a maximális megengedett eltérés a névleges értéktől %-ban kifejezve, ha a kapacitás kisebb, mint 10 *pF*
** a maximális megengedett eltérés a névleges értéktől *pF*-ban kifejezve, ha a kapacitás nagyobb, mint 10 *pF*
*** $\times 10^{-6}$, hőmérsékleti együttható, vagyis az 1 ^{o}C hőmérsékletváltozásra jutó relatív kapacitásváltozás
**** megengedett maximális feszültség *V*-ban kifejezve

TEKERCSEK SZÍNKÓDJAI



Sávszín	Számérték	Szorzó	Értéktűrés *
ezüst	–	10^{-2}	± 10
arany	–	10^{-1}	± 5
fekete	0	1	20
barna	1	10^{1}	± 1
piros	2	10^{2}	± 2
narancs	3	10^{3}	± 3
sárga	4	10^{4}	± 4
zöld	5	–	–
kék	6	–	–
lila	7	–	–
szürke	8	–	–
fehér	9	–	–

* a maximális megengedett eltérés a névleges értéktől %-ban kifejezve

12. SZABVÁNYOSÍTOTT BETŰKÓDOK

Az ellenállások, kondenzátorok vagy tekercsek névleges értékének, illetve számos más paraméterének (tűrés, hőmérsékleti együttható, névleges feszültség stb.) betűkódos megadását szintén a Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság (IEC) szabványosítja. A jelenleg érvényben levő szabványok az IEC 60062:2016 és IEC 61605:2016 jelzést viselik.

12.1 Névleges értékek megadása

A ellenállások névleges értéke Ω-ban, kondenzátoroké pF-ban, a tekercseké pedig μH-ben értendő.

A kód magába foglalja az értékes számjegyeket, a tizedesvesszőt jelképező karaktert és a nagyságrendet megadó szorzószám karakterét. Lehetséges kódtípusok: „###…”, „#X#…”, „##...n”, ahol „X” az alkatelem típusát és a tizedesvessző helyét jelöli (R = ellenállás, C vagy F = kondenzátor, illetve L vagy R vagy N = tekercs), „#” a számjegy (0 ... 9) és „*n*” a nagyságrend (10 hatványkitevője). Az ellenállások névleges értékének megadásánál az R betű mellett meghonosodott a k és az M is. Mindhárom jelölheti egyszerre a tizedesvessző helyét és a szorzó értékét is (R = 1, k = 1000, M = 1000). Kondenzátoroknál és tekercseknél a μ vagy az u 10^{-6}-os szorzót, az n pedig 10^{-9}-es szorzót jelent. Nagyon kis kapacitások jelülésére használják még a p-t, ami a 10^{-12}-es szorzót jelképez.

12.2 Az értéktűrés megadása

A tűrést (jellegzetesen %-ban kifejezve) a nagyságrendet jelentő számjegy után kell megadni egy betűvel. Vannak esetek amikor ez a jelölés hiányzik (ilyenkor a tűrés ± 20 %). Előfordulhat, hogy a tűrés nem szimmetrikus, azaz a két értékhatár nem helyezkedik el egyformán a névleges érték körül, ilyenkor meg kell adni mindkettőt.

Példák:

Ellenállásoknál:	10R00J = 10 Ω ± 5%	R47 = 0,47 Ω	0M47 = 0,470 $M\Omega$
	5114F = 5,11 $M\Omega$ ± 1%	4k7 = 4,7 $k\Omega$	47R = 47 Ω
	1k0 = 1k = 1 $k\Omega$	1R0 = 1 Ω	473 = 47000 Ω
Kondenzátoroknál:	3C9C = 3,9 pF ± 0,25 %	223 = 22000 pF = 22 nF	
	157M = 150 μF ± 20%	100 = 10 pF	
	473J = 47 nF ± 5%		
Tekercseknél:	ha L < 100 nH:	ha 100 nH < L < 10 μH:	ha L ≥ 10 μH:
	N012K = 12 nH ± 10%	R33 = 0,33 μH = 330 nH	10R = 10 μH
	4N7 = 4,7 nH	4u = 4 μH	471 = 470 μH

Betűkód	Ellenállás	Kondenzátor		Tekercs
		> 10 *pF*	**< 10 *pF***	
E	± 0,005 %	± 0,005 %	–	–
L	± 0,01 %	± 0,01 %	–	–
P	± 0,02 %	± 0,02 %	–	–
W	± 0,05 %	± 0,05 %	–	± 0,05 %
B	± 0,1 %	± 0,1 %	± 0,1 pF	± 0,1 %
C	± 0,25 %	± 0,25 %	± 0,25 pF	± 0,2 %
S	–	–	–	± 0,3 %
D	± 0,5 %	± 0,5 %	± 0,5 pF	± 0,5 %
F	± 1 %	± 1 %	± 1 pF	± 1 %
G	± 2 %	± 2 %	± 2 pF	± 2 %
H	± 3 %	± 3 %	–	± 3 %
J	± 5	± 5	–	± 5 %
K	± 10 %	± 10 %	–	± 10 %
L	–	–	–	± 15 %
M	± 20 %	± 20 %	–	± 20 %
N	± 30 %	± 30 %	–	± 30 %
Q	– 10 % / + 30 %	– 10 % / + 30 %	–	–
T	– 10 % / + 50 %	– 10 % / + 50 %	–	–
S	– 20 % / + 50 %	– 20 % / + 50 %	–	–
Z	– 20 % / + 80 %	– 20 % / + 80 %	–	–

12.3 A hőmérsékleti és a névleges feszültség együttható megadása

A hőmérsékleti együttható (vagyis az egységnyi hőmérsékletváltozásra jutó relatív változás) kifejezésére nincs egyértelmű betűs vagy számos jelölés a szakirodalomban, inkább a színkódost használják. Amennyiben az alkatelem eleve nem színkódosan van bélyegezve, a hőmérsékleti együttható értekét inkább az adatlapban adják meg $ppm/^oC$ egységekben kifejezve. A kondenzátor névleges feszültségét V-ban kifejezve rábélyegzik a kondenzátortestre vagy betűkóddal adják meg. A betűkód típus és dielektrikumfüggő.

(a) tantál, üveg és csillám kondenzátoroknál (V-ban):

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
6	6,3	8	10	15	20	25	30	35	40	50
M	N	P	Q	R	S	T	U	V	W	Y
60	63	75	100	150	160	200	250	300	400	500

(b) kerámia és műanyag kondenzátoroknál (V-ban):

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
25	50	60	63	100	160	200	250	300	400	500
M	N	P	Q	R	S	T	U	V	W	Y
1000	1600	2000	2500	3000	4000	6000	6300	8000	10000	12500

13. FELÜLETSZERELT ALKATELEMEK KÓDOLÁSA

A felületszerelési technológia (*surface-mount technology*, SMT) olyan technológia, melynek során kivezetések („láb”) nélküli alkatelemeket (*surface-mount devices*, *SMD*), illetve vagy igen rövid (furatszerelésre alkalmatlan) csatlakozókkal rendelkező IC-ket, közvetlenül a nyomtatott huzalozású lemez felületére forrasztanak. Tehát úgy az alkatelemek, mint a rögzítésük a panel ugyanazon oldalán történik, nincs szükség furatokra.

A technológia előnyei:

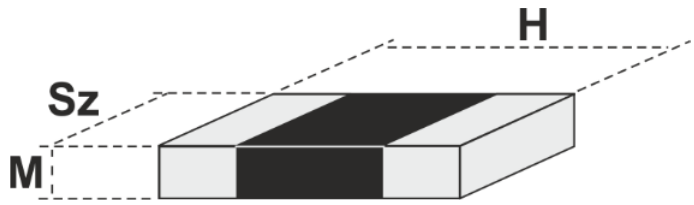
- kisebb alkatelemek és nagyobb elemsűrűség
- olcsóbb gyártási folyamat
- automatizálható beültetés

és hátrányai:

- a hordozó egységnyi felületén található nagy alkatelemszám miatti nehézkés hibakeresés és feltárás
- magas alkatelem beültetési pontosság
- a méretcsökkentés és nagy alkatelemszám miatti bonyolultabb tervezés
- a magasabb feszültségszint vagy nagyobb áramerősség alaktelem károsodást idézhet elő

Az SMD alkatelemeket általában alakjuk és méretük alapján lehet azonosítani, névleges értéküket pedig jellegzetesen bélyegzik az alkatrész felületére. A továbbiakban a passzív alkatelemek azonosítási lehetőségeit mutatjuk be. Az aktív alkatelemek kódolása komplexebb, azonosításuk katalógusok vagy kézikönyvek segítségével történik. A méretalapú kódolás és azonosítás négy számjeggyel történik: az első két számjegy a hossz, az utolsó két számjegy pedig a szélesség *inch*ben (hüvelykben) kifejezve (Figyelem! 1 *inch* ≈ 2,54 *mm*):

SMD ellenállásokra és kerámia kondenzátorokra



H = hosszúság
Sz = szélesség
M = magasság

13.1 ábra – SMD méretek

Kód	Méret *mm*-ben	Méret *inch*-ben
2512	6,30 x 3,10	0,25 x 0,12
2010	5,00 x 2,60	0,20 x 0,10
1812	4,60 x 3,00	0,18 x 0,12
1210	3,20 x 2,60	0,12 x 0,10
1206	3,00 x 1,50	0,12 x 0,06
0805	2,00 x 1,30	0,08 x 0,05
0603	1,50 x 0,08	0,06 x 0,03
0402	1,00 x 0,50	0,04 x 0,02
0201	0,60 x 0,30	0,02 x 0,01

Ellenállásoknál a magasság 0,25 és 0,60 *mm* között, kondenzátorok esetén pedig jellegzetesen 0,51 és 1,90 *mm* között változhat.

Tantál alapú SMD kondenzátorokra:

Kód	Méret (*mm*-ben)
A méret	3,2 x 1,6 x 1,6
B méret	3,5 x 2,8 x 1,9
C méret	6,0 x 3,2 x 2,2
D méret	7,3 x 4,3 x 2,4
E méret	7,3 x 4,3 x 4,1

A névleges érték, a tűrés, a terhelhetőség (teljesítmény vagy feszültség) alkatelem típusonként változhat, számokból és betűkből álló kóddal történik.

SMD ellenállások terhethetősége:

Kód	P (*W*)
2512	0,50 (1/2)
2010	0,25 (1/4)
1210	0,25 (1/4)
1206	0,125 (1/8)
0805	0,1 (1/10)
0603	0,0625 (1/16)
0402	0,0625 és 0,031 között (1/16 és 1/32)
0201	0,05
2512	0,50 (1/2)

SMD ellenállások névleges értéke:

Az SMD ellenállások névleges értékének megadása történhet 3 vagy 4 karakteres bélyegzéssel (első két vagy három számjegy = érték, utolsó számjegy = a 10-es szorzó hatványkitevője) vagy az E értéksorokra alapuló kétszámjegyű kódrendszerrel, ahol a nagyságrendi szorzót betű jelképezi, a kétszámjegyes kód pedig egy névleges értéknek felel meg.

Példák:	**3 karakteres bélyegzés**	**4 karakteres bélyegzés**
	330 = 33 Ω	1000 = 100 Ω
	221 = 220 Ω	4992 = 49900 Ω
	105 = 1000000 Ω	1623 = 162000 Ω
	8R2 = 8,2 Ω	0R56 = 0,56 Ω

SMD ellenállások nagyságrend betűkaraktere:

A =	1	E =	10000	C =	100	X vagy S =	0,1
B =	10	F =	100000	D =	1000	Y vagy R =	0,01

SMD ellenállások értéksoros kódolás tűrés szerint:

1 %-os:

kód	Ω	kód	Ω	kód	Ω	kód	Ω	kód	Ω	kód	Ω
01	100	17	147	33	215	49	316	65	464	81	681
02	102	18	150	34	221	50	324	66	475	82	698
03	105	19	154	35	226	51	332	67	487	83	715
04	107	20	158	36	232	52	340	68	499	84	732
05	110	21	162	37	237	53	348	69	511	85	750
06	113	22	165	38	243	54	357	70	523	86	768
07	115	23	169	39	249	55	365	71	536	87	787
08	118	24	174	40	255	56	374	72	549	88	806
09	121	25	178	41	261	57	383	73	562	89	825
10	124	26	182	42	267	58	392	74	576	90	845
11	127	27	187	43	274	59	402	75	590	91	866
12	130	28	191	44	280	60	412	76	604	92	887
13	133	29	196	45	287	61	422	77	619	93	909
14	137	30	200	46	294	62	432	78	634	94	931
15	140	31	205	47	301	63	442	79	649	95	953
16	143	32	210	48	309	64	453	80	665	96	976

2 %-os:

kód	Ω	kód	Ω
01	100	13	330
02	110	14	360
03	120	15	390
04	130	16	430
05	150	17	470
06	160	18	510
07	180	19	560
08	200	20	620
09	220	21	680
10	240	22	750
11	270	23	820
12	300	24	910

5 %-os:

kód	Ω	kód	Ω
25	100	37	330
26	110	38	360
27	120	39	390
28	130	40	430
29	150	41	470
30	160	42	510
31	180	43	560
32	200	44	620
33	220	45	680
34	240	46	750
35	270	47	820
36	300	48	910

10 %-os:

kód	Ω
49	100
50	120
51	150
52	180
53	220
54	270
55	330
56	390
57	470
58	560
59	680
60	820

Példák:

A55 = 330 *Ω* (10 %-os tűrés) 43E = 2740000 *Ω* (1 %-os tűrés) 2A = 165 *Ω* (1 %-os tűrés)
C31 = 18000 *Ω* (5 %-os tűrés) 68C = 49900 *Ω* (1 %-os tűrés) D18 = 510000 *Ω* (2 %-os tűrés)

SMD elektrolitkondenzátorok

Az SMD elektrolitkondenzátorok névleges feszültségét rendszerint rányomtatják a kondenzátor testére, együtt a μF-ban kifejezett kapacitásértékkel, de ez elég nagy felületet igényel (**Példa:** 10 6 V = 10 μF és 6 V).

Nagyon gyakran alkalmazzák a kódos jelölést, amikor egy betű és 3 számjegy fog elvezetni a pF-ban kifejezett kapacitásértékhez (2 érték és egy 10-es szorzó hatványkitevője).

Betűkód	Névleges feszültség (V)
e	2,50
G	4
J	6,3
A	10
C	16
D	20
E	25
V	35
H	50

Példa: A475 = 4700000 pF és 10 V

A kerámia SMD-knél rendszerint az egy vagy két betű és egy szám összetételű kódot használnak. Ha két betű van akkor az első a gyártót jelöli (Pld.: V = Vishay, K = Kemet, stb.). A második betű (vagy ha a kód csak egy betűt tartalmaz) a névleges értéket jelenti, az azt követő szám pedig a 10-es szorzó hatványkitevője lesz.

Betűkód	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P
Szorzó	1	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,9
Betűkód	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z				
Szorzó	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1				
Betűkód	a	b	d	e	f	m	n	t	y					
Szorzó	2,5	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0					

Példák:

S3 = $4{,}7 \cdot 10^3$ pF

A2 = 100 pF

14. A FORRASZTÁS

A *forrasztás* egy termikus eljárás két szilárd halmazállapotú fém közötti adhéziós kapcsolat létesítése egy harmadik, forraszanyagnak nevezett, megömlő kötőanyag hozzáadásával úgy, hogy a két fém között elektromosan tökéletesen vezető kapcsolat alakuljon ki. A hegesztéssel ellentétben, forrasztás esetén a kötés az alapanyagok megolvadása nélkül jön létre. Innen származnak ezen technika előnyei is, vagyis az alkatrészek szerkezet- és alakváltozás nélkül köthetők össze, és ez a folyamat könnyen gépesíthető, automatizálható, illetve megszüntethető roncsolás nélkül.

A forrasztás mindig egy (az összeforrasztandó alapanyagoktól különböző) kisebb olvadásponttal rendelkező anyaggal történik. Ezt az anyagot hívjuk forraszanyagnak.

Forrasztáskor a szilárd állapotban maradó fémek felülete tiszta kell legyen, a forraszanyagnak nem szabad olyan szennyeződéseket tartalmazni, amelyek a kialakulandó fémes kötést akadályoznák. Olyan fém, amely könnyen oxidálódik és a felületen stabil oxidréteget alkot, nem igazán alkalmas erre a célra.

A forrasztás másik fontos követelménye, hogy a forraszanyag jól kell nedvesítse a forrasztandó felületet. Ez alatt azt kell érteni, hogy a forraszanyagnak túlhevítés nélkül könnyen szét kell terülnie az alapfém felületén. A forraszanyag megömlését és megfelelő mértékű tapadását a folyasztószerek segítik elő. Ezek a szerek ugyanakkor biztosítják a tiszta fémfelületet és védenek az oxidálódás ellen.

A keményforrasztás hőmérséklete már 450 ^{o}C fölött van (rendszerint 720 ^{o}C, vagy annál magasabb) és a kialakított keményforrasztási varrat szilárdsága megközelíti a hasonló jellegű hegesztési varrat szilárdságát. Ennek a technikának a forraszanyagai a réz, az ezüst és a cink, a leginkább alkalmazott folyasztószer pedig a bórax.

A forrasztási technikák közül az elektronikában az úgynevezett lágyforrasztás használatos. Ennek munkahőmérséklete 450 ^{o}C alatt helyezkedik el (általában 260… 300 ^{o}C). Mivel csekély szilárdság jellemzi, a kötéseket bizonyos esetekben tehermentesíteni kell.

A gyakorlatban a leginkább használt lágyforrasztási folyasztószer a fenyőgyanta vagy a műgyanta (kollofónium), míg forraszanyagként legtöbbször ón-ólomötvözetet (60 % Sn és 40 % Pb) szoktak használni. A szaküzletekben kapható hajlékony forraszhuzal tulajdonképpen egy gyantabéllel töltött ón-ólom ötvözetű szál, melynek gyantatartalma kb. 2 tömegszázalék. Az ötvözet olvadáspontja 190 $°C$ körül van, ami az elektronikában is igen gyakran használatos vörösréz olvadáspontjánál (1083 $°C$) lényegesen alacsonyabb, ugyanakkor a forrasztás befejezése után gyorsan szilárdul és mechanikai igénybevétele is igen jó. Amennyiben nemkívánatos az ólom használata, lehet ólommentes forraszanyagot használni.

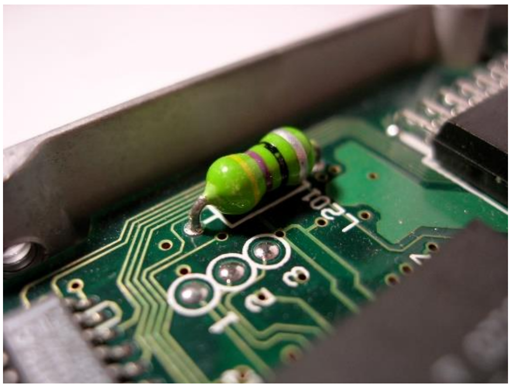
Jellegzetes összetételek: 99,3 % Sn + 0,7 % Cu; 96,5 % Sn + 3,5 % Ag; 95,5 % Sn + 3,8 % Ag + 0,7 % Cu; 96,5 % Sn + 3 % Ag + 0,5 % Cu.

A lágyforrasztáshoz hőforrásként villamos forrasztópákát vagy forrasztóállomást használnak. Az egyszerűbb kialakítás a páka, amely nem más, mint egy nyéllel ellátott melegíthető fej. A fejben elhelyezett ellenállásfűtéssel történik annak hevítése, az elért hőmérsékletet a fűtőellenállás határozza meg. A forrasztóállomás egy komplexebb berendezés, amelyben a forrasztófej hőmérséklete folyamatosan és fokozatosan szabályozható, a kívánt hőmérséklet pedig stabilan megtartható. Léteznek még hőlégfúvásos forrasztóállomások is, ezek esetében a hevítés forró levegő fúvatásával történik.

A modern elektronika nyomtatott áramköröket használ. Ennek egyik oldalán az áramkör kapcsolási rajzának megfelelő mintázat található (forrasztható rézfólia lyukakkal melyeken keresztül átvezethetők az alkatrészek kivezetései). A rézfóliával ellentétes oldalon történik az alkatelemek beültetése és az átkötések. Az alkatelemek kivezetéseit olyan hosszúra vágjuk le, hogy beültetés után (átdugva a megfelelő lyukon) a túloldalon kb. 1–1,5 *mm* érjen ki, és ezt a kis kilógó részt forrasszuk a lapka rézfelületére. Ha kell a kilógó rész akár lehajtható (ekkor hosszabbra szokták méretezni).



14.1 ábra – Forrasztható rézfólia forrasztási pontokkal és hosszúforrasztással



14.2 ábra – Beültetési mintázatos NYÁK és a már beforrasztott ellenállás

A lágyforrasztás három fő fázisból áll, ezek: előkészítés, forrasztás, utókezelés.

1. *A forrasztás előkészítése* – Első lépésben a kötést tisztítjuk és készítjük elő (lereszeléssel, átlapolással, hevederes kötéssel, csavarással, sodrással stb.). A forrasztott kötések elkészítésekor is érvényes az a szabály, hogy minél egyszerűbb a kötés, annál megbízhatóbb!

Ezután a forrasztás helyének előkészítésével kell foglalkozni, ami azt jelenti, hogy fémtiszta, zsírmentes felületet alakítunk ki. Ezt a szennyeződések, oxidrétegek eltávolításával érjük el, amihez kémiai (Pl. sósav, alkohol) vagy mechanikai (reszelő, hántoló, csiszolóvászon stb.) segítségre van szükségünk.

Tisztítás után a letisztított felületet kézzel, szerszámmal érinteni már nem ajánlatos, mert az újra szennyeződhet! A forrasztópáka csúcsát sem szabad elhanyagolni. Egy szennyezett pákacsúcs rossz hővezető és rontja a forrasztás minőségét. Emiatt forrasztás előtt, alatt és után a szennyeződéseket el kell távolítani!

2. *A forrasztás* – A forrasztási felületnek pontosan és fémesen kell érintkeznie egymással a megfelelő minőségű és szilárdságú kötés érdekében. A forrasztási helyet az előkészítési folyamat után folyasztóanyaggal kell bekenni. Ez a folyasztótípus függvényében történhet ecsettel vagy farudacskával, esetleg olvasztással.

A forrasztandó alkatrészeket, munkadarabokat rögzíteni kell elmozdulás ellen és ezt úgy kell megoldani, hogy a rögzítőeszköz ne vezethesse el a hőt! A forraszanyagot felmelegítve adagoljuk és a felületek közé folyatjuk, majd megszüntetjük a hevítést, ennek következtetésében a forrasz lehűl és megszilárdul. Ha hosszú forrasztást, úgynevezett varratot készítünk, akkor azt szakaszosan kell forrasztani (először kisebb pontokat forrasztunk, majd a varratot összekapcsolással véglegesítjük). A forrasztópáka méretét és kialakítását (hegyét) a munkadarab nagyságához és vastagságához választjuk meg. A túlhevített forrasztópáka elégeti/gőzölögteti a folyasztószert, így a sötétvörösnél nem szabad magasabb hőmérsékletre hevíteni és visszafordíthatatlanul károsítja az alkatelemet. Ugyanakkor a nem kellően hevített páka sem megfelelő, mert akkor nem jön létre adhéziós kötés, csak "ragasztás".

3. *Utókezelés* – A kész forrasztás helyét szemrevételezéssel ellenőrizzük, tisztítjuk (a nemkívánatos maradékokat eltávolítjuk). A forrasztóeszközöket, szerszámokat karbantartott, üzemképes állapotban kell tárolni.

Egy jó forrasztás ismérvei: ellenáll a korróziónak, elviseli a hőingadozásokat, ellenáll a mechanikai igénybevételeknek (pl. rázkódás, ütések), jól kivehető a csatlakozások körvonala, a forrasztás körvonala homorú, a forrasztás tiszta és fényes, a szigetelések épen maradtak.

Figyelem! A be- és kiforrasztás gyakorlását csak szakavatott személyek felügyelete és irányítása alatt szabad elvégezni.

15. FONTOSABB ANYAGJELLEMZŐK

Néha fontos lehet a műszaki gyakorlatban elterjedt és felhasznált anyagok villamos vagy mágneses jellemzőit ismerni. A különböző szakirodalmi források ezeket az értékeket a gyakorlati felhasználás szempontjából érdekes munkakörülményeken (frekvencia, nyomás, hőmérséklet, összetétel, stb.) adják meg. Ez olykor eredményezhet kisebb-nagyobb eltéréseket a különböző forrásokból származó adatok között.

Az alábbiakban szemléltetünk néhány, általunk fontosabbnak tartott információt.

Ötvözet összetétel

Alumel	95 % Ni + 2 % Mn + 2 % Al + 1 % Si
Bronz	(100 – x %) Cu + x % Sn
Cekász (fűtőbetét)	80 % Ni + 20 % Cu
Chromel	10 % Cr + 90 % Ni
Kanthál	20 – 30% Cr + 4 – 7,5% Al
Konstantán	55 % Cu + 45 % Ni
Manganin	84,2 % Cu + 12,1 % Mn + 3,7 % Ni
Nicrosil	84,1 % Ni + 14,4% Cr +1,4% Si + 0,1% Mg
Nisil	95,6 % Ni + 4,4 % Si
Permalloy	80 % Ni + 20 % Fe
Sárgaréz	(100 – x %) Cu + x % Zn

Relatív dielektromos állandó (permittivitás)

Bakelit	4,5 … 8
Borostyán	2,8 … 2,9
Csillám	5,7 … 7
Ebonit	2 … 3,5
Gumi	2,1 … 4,0
Levegő	1,000586
Olajos papír	5
Papír	1,2 … 3
PET	3,2 … 3,4
Petróleum	2,2
Plexi	2,1 … 4,5
Polietilén	2,2 … 2,4
Polikarbonát	2,9 …3,1
Porcelán	5,5 … 6,5
PVC	2,7 … 3,1
Teflon	2 … 2,1
Transzformátorolaj	2,2 … 2,5
Üveg	3 … 15
Víz	81

Átütési feszültség (kV/mm)

Bakelit	10
Csillám	47 … 68
Desztillált víz	60 … 70
Gumi	100 … 215
Levegő	2 … 4
Olajozott papír	20 … 30
Papír	1,2 … 3
Paraffinolaj	70
Polietilén	20 … 30
Porcelán	34 … 38
PVC	14 … 20
Teflon	60 … 70
Transzformátorolaj	10

Relatív mágneses permeabilitás

Acél	200 ... 2000
Ferrit	50 … 1000
Kobalt	170
Nikkel	270
Öntöttvas	50 … 500
Permalloy	9000 … 100000
Petróleum	0,999989
Réz	0,999990
Transzformátorlemez	1000 … 10000
Víz	0,999991

Tiltott sávszélesség (eV)

CdS	2,42
CdSe	1,74
GaAs	1,43
GaN	3,50
GaP	2,26
Ge	0,67
InAs	0,35
InP	1,34
InSb	0,17
PbS	0,37
PbSe	0,27
Si	1,14

	Fajlagos ellenállás ($\Omega\cdot m$)	**Hőmérséklet-tényező ($°C^{-1}$)**
Acél	1,4 … $9,5\cdot10^{-7}$	4,2 … $5\cdot10^{-3}$
Alumínium	$2,67\cdot10^{-8}$	0,0045
Arany	$2,20\cdot10^{-8}$	0,0040
Bakelit	10^{9} … 10^{11}	–
Borostyán	1016	–
Csillám	10^{12} … 10^{15}	–
Gumi	10^{8} …10^{15}	–
Ezüst	$1,63\cdot10^{-8}$	0,0041
Kontantán	$4,3\cdot10^{-7}$	$3\cdot10^{-5}$
Króm-Nikkel	$8,5\cdot10^{-6}$	$2,5\cdot10^{-4}$
Levegő	10^{9} … 10^{15}	–
Manganin	$4,3\cdot10^{-7}$	1 … $2\cdot10^{-5}$
Nikkel	$6,90\cdot10^{-8}$	0,0068
Papír	10^{10} … 10^{12}	–
PET	1021	–
Platina	$10,58\cdot10^{-8}$	0,00392
Plexi	1013	–
Polietilén	1014	–
Polikarbonát	1014	–
Porcelán	10^{10} …10^{12}	–
PVC	1010	–
Sárgaréz	0,5 … $1,2\cdot10^{-7}$	0,0015
Szén	0,4 … $1\cdot10^{-4}$	– 3 … $9\cdot10^{-4}$
Szilícium	$6,4\cdot10^{2}$	– 0,075
Teflon	1016	–
Üveg	10^{11} … 10^{15}	–
Vas	$10,01\cdot10^{-8}$	0,0065
Víz	10^{-1} … 10^{5}	0,000006 … 10
Vörösréz	$1,69\cdot10^{-8}$	0,0043

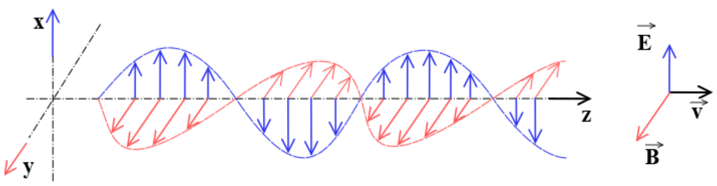
16. AZ ELEKTROMÁGNESES SPEKTRUM

Ha a hő- és sugárzási veszteségek elhanyagolhatóak egy zárt rezgőkörben, akkor a kondenzátorban elraktározódott elektromos energia és a tekercsben elraktározódott mágneses energia negyedperiódusonként kölcsönösen átalakul egymásba és úgynevezett *elektromágneses rezgés*ek alakulnak ki.

Ha a rezgőkör nyitottá válik (például a kondenzátorok fegyverzeteit egyre jobban eltávolítjuk egymástól), akkor az addig egymásba átalakuló elektromos és mágneses terek „leszakadnak” és „kiszabadulnak” a közvetlen környezetbe, ahol egymást kölcsönösen tovább gerjesztve önálló anyagi objektumként, energiát és impulzust hordozva térben és időben tovaterjednek. Ez a sajátos tovaterjedés lesz az *elektromágneses hullám*.

A rezgőkör méreteihez képest viszonylag nagy távolságban egyszerű szinuszos hullám formájában terjed tova. A közvetítőközeg jelenléte nem feltétele a hullámok megjelenésének (az elektromágneses hullámok vákuumban is terjednek).

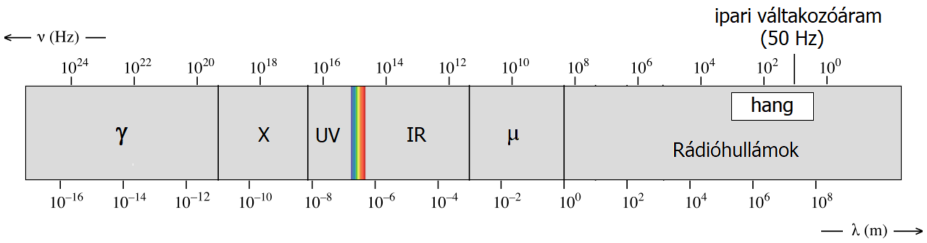
A kisugárzott hullámban az elektromos térerősségvektor és a mágneses indukcióvektor egymással megegyező fázisban vannak, egymásra és a terjedés irányára is merőlegesek.



16.1 ábra – Az elektromos térerősségvektor és a mágneses indukcióvektor terjedése az elektromágneses hullámban

Az elektromágneses hullámok osztályozása, leírása és jellemzése, illetve felhasználása a hullámhossz (két hullámhegy közötti térbeli távolság) vagy a frekvencia (a hullámhegyek időbeli ismétlődése, az egy másodpercre jutó rezgések száma) segítségével történik. Az elektromágneses sugárzás elrendezése frekvencia vagy hullámhossz szerint elvezet az elektromágneses spektrum kialakulásához. Ez egy igen széles frekvencia- vagy hullámhossztartományt fed le, hozzávetőlegesen 24 nagyságrenden keresztül (1 és 10^{24} *Hz* vagy 10^{-16} és 10^{8} *m* között), az egyes tartományok között nincs éles átmenet, a határértékek pedig rugalmasak, a különböző szakirodalmi források némileg eltérően (de 1 nagyságrenden belül) jelölhetik meg azok értékét.

Az alábbiakban feltüntettük az elektromágneses spektrum fontosabb tartományait és viszonyítási alapként bejelöltük az ipari váltakozóáram frekvenciáját (50 *Hz*) és a (mechanikai) hanghullámok tartományát (megközelítőleg 16 *Hz* és 16 *kHz* között).



16.2 ábra – Az elektromágneses spektrum

A teljes színképben való elhelyezkedéstől függetlenül, az elektromágneses hullámokra lényegében ugyanazok a törvényszerűségek érvényesek:

- nincs szükségük terjedési közegre
- kettős természetük van, azaz hullámként (transzverzális) és részecskeként (foton) is viselkedhetnek – a kisebb hullámhosszok felé a részecskejelleg, a nagyobb hullámhosszok felé a hullámtulajdonságok dominálnak
- leírásukhoz szükséges jellemző fizikai mennyiségek: hullámhossz, frekvencia, amplitúdó és az egymáshoz képesti fázis

Ezzel ellentétben az anyagok viselkedése a különböző hullámhosszokkal szemben különböző lehet.

Az egyes spektrumtartományokhoz tartozó elektromágneses hullámok a más-más formában jelennek meg és lesznek érzékelhetőek, ezért úgy a hullámok, mint a tartományok más-más elnevezést kaptak. Ha a kis frekvenciaértékektől (kis energiáktól vagy nagy hullámhosszaktól) indulunk akkor az elektromágneses hullámok és a nekik megfeleltethető tartományok elnevezései, illetve szokványos rövidítésük, ha van:

a) rádió
b) infravörös (IR)
c) látható (VIS)
d) ultraibolya (UV)
e) röntgen (RX)
f) kozmikus

A legfőképpen távközlési és híradástechnikai célokra használt *rádióhullámok* frekvenciája 0 és $3{\cdot}10^{11}$ *Hz*, hullámhosszuk 100.000 *km* és 1 *mm* közé esik. A hullámhossz szerint megkülönböztetik a:

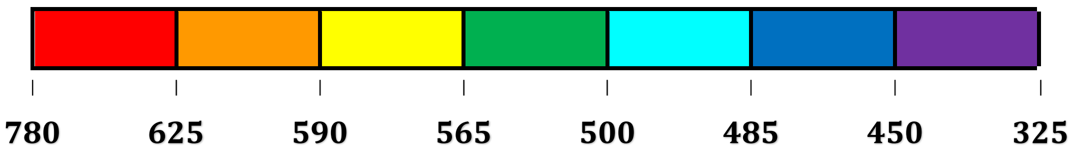
- hosszúhullámokat ($f < 300\ kHz$, $\lambda > 1$ km)
- középhullámokat ($300\ kHz < f < 3\ MHz$, $1\ km > \lambda > 100\ m$)
- rövidhullámokat ($3\ MHz < f < 30\ MHz$, $100\ m > \lambda > 10\ m$)
- ultrarövid hullámokat ($30\ MHz < f < 300\ MHz$, $10\ m > \lambda > 1\ m$)
- mikrohullámokat ($300\ MHz < f < 300\ GHz$, $1\ m > \lambda > 1\ mm$)

Érdemes megjegyezni, hogy a háztartások villamos energiával történő ellátását biztosító ipari (technikai) váltakozóáram frekvenciájának (50 *Hz*) óriási (6000 *km*) hullámhossz felel meg, az emberi fül számára érzékelhető hanghullámok pedig 16 *Hz* és 16 *kHz* között helyezkednek el!

Az *infravörös hullámok* (IR) vagy hősugarak frekvenciája $3 \cdot 10^{11}$ – $3 \cdot 10^{14}$ *Hz*, hullámhosszuk megközelítőleg 780 *nm* és 1000 μm közé esik. Ezeket testünk hőként, melegségnek érzékeli. Ezeket a hullámokat használják:

- az éjjellátó szemüvegek (NIR vagy IR-A, közeli infravörös tartomány, 780 *nm* – 1,4 μm)
- a háztartási multimédiás készülékek távirányítói (SWIR vagy IR-B, rövid hullámhosszú infravörös tartomány, 1,4 *nm* – 3 μm)
- a különböző tárgyak, testek hősugárzását szemléltető hőképek és hőtérképek (IR-C, MWIR 3 – 8 μm közepes hullámhosszú-, LWIR 8 – 15 μm hosszú hullámhosszú- és távoli infravörös, 15 μm – 1 *mm*)

Az infravörös tartományhoz tartozó elektromágneses hullámok mellett az optoelektronikában igen fontos szerep jut a *látható fény* (VIS) számára. A többi tartományhoz viszonyítva ez egy igen keskeny sáv (380 – 780 nm), az emberi szemmel érzékelhető színek és a nekik megfelelő hullámhossztartományok pedig:



16.3 ábra – A látható színképtartomány (számértékek *nm*-ben)

Az elektromágneses színkép 380 és 10 *nm* közötti hullámhosszértékek alkotják az *ultraibolya* vagy *ibolyán túli hullámok* (UV) tartományát, melynek szokásos felosztásai:

- 380 – 315 *nm*, UV A (nagy hullámhosszú)
- 315 – 280 *nm*, UV B (közepes hullámhosszú)
- 280 – 100 *nm*, UV C (kishullámhosszú)

vagy

- 380 – 300 *nm*, NUV (közeli)
- 300 – 200 *nm*, MUV (közepes)
- 200 – 122 *nm*, FUV (távoli)

vagy

- 200 – 100 *nm*, VUV (vákuum)
- 100 – 10 *nm*, EUV (extrém vákuum)

Az UV sugárzást analitikai színképelemzésre, fertőtlenítésre és a félvezetőiparban litográfiára használják.

Az anyagszerkezet és összetétel tanulmányozását és az orvosi képalkotást lehetővé tevő *röntgensugarak* (10 *pm* – 10 *nm*) a nagyenergiájú elektronfolyamatok, azaz a nagy mozgási energiával rendelkező elektronok és anyag kölcsönhatása hozzák létre.

Az elektromágneses spektrum végén az atommag átalakulások során kibocsátott elektromágneses sugárzás, az úgynevezett *gamma sugárzás* (γ) található, melynek frekvenciája nagyobb mint 10^{19} *Hz*, hullámhossz pedig 3 *pm* alatti.

17. A DECIBEL

A mindennapi élet természetessé tette a lineáris ábrázolást, azaz az arányosságot. Vagyis, ha valami 5-ször nagyobb, mint az egység az 5 egységnyi nagy, ami 7-szer az pedig 7 egységnyi stb. Legtöbbször a közvetlen mérések is ilyen trendet követnek. Azonban a műszaki gyakorlatban ez nem mindig praktikus, főleg, ha a szobán forgó értéktartomány igen széles: a kis értékek nem lesznek megfigyelhetők elég részletesen, a másik végletben a nagy értékek pedig felesleges részletességgel adhatók meg.

Egy ilyen probléma megoldása az ábrázolásváltásban rejlik. Célszerű egy olyan ábrázolási módot választani, amely az adott értékeket, hanem az arányokat szemléletesebben fejezi ki. A gyakorlatban erre a célra a (10-es alapú) logaritmikus ábrázolás bizonyult a legmegfelelőbbnek, vagyis a 10-szer nagyobb 1 egységnyit jelent, a 100-szoros 2-öt, az 1000-szeres 3-at, stb. A kialakított logaritmikus skála közelebb hozza a nagy értékeket egymáshoz, és nem a nagyságuk, hanem az arányuk válik fontossá. A lineáris térből megszokott szorzás és osztás műveletei a logaritmikus térben összeadásra, illetve kivonásra cserélődnek, a hatványozás és gyökvonás pedig szorzást, illetve osztást jelent, két logaritmikus érték szorzása lineáris térben hatványozás lesz, osztásuk pedig a számlálóban levő szám nevező-edik gyökét adja majd meg, ha pedig a logaritmikus érték előjelét megfordítjuk, akkor lineáris térben reciprok értéket kapunk.

Egy hangszóróra érkező 100 W teljesítményű elektromos jel (zene), az 1 W teljesítményű jelhez képest, nem fog százszoros hangérzetet kiváltani az emberi fülben, hanem csak megközelítőleg annak hússzorosát – vagyis a két teljesítmény tízesalapú logaritmusának tízszeresét. Ezért a logaritmikus skála tökéletes összhangban van az emberi hallószerv működési módjával, és egyik legismertebb felhasználási területe az akusztika és a hangerősség mérése lett, de ma már széles körben használják a fizika más területein is, az elektronika erősítési vagy szűrési folyamataiban pedig lehetővé teszi a szélsőségesen nagy és kicsi értékek összehasonlítását.

A logaritmikus skála alapegysége a *bel* (B), amely általában két teljesítmény jellegű érték tízesalapú logaritmusának 10-szeres arányát jelenti. A *Bell Telephone Laboratory* mérnökei vezették be az 1920-as években azért, hogy az akkori „szabványos” telefonkábel 1 mérföldnyi (1,6 km) hosszúságú szakaszán bekövetkező hangerősség-csökkenés mértékét határozzák meg. Később, a mindennapi használatra a *bel,* mint egység túl nagynak bizonyult, ezért helyette annak törtrésze, a *decibel* (dB) terjedt el (1 dB = 0,1 B).

Tehát, a definíció értelmében, ha két teljesítményszint (P_1 és P_2) aránya lineáris skálán

$$A = \frac{P_2}{P_1}$$

akkor logaritmikus skálán dB-ben kifejezve ez az arány

$$A_{dB} = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

Az elektronikában legtöbbször nem teljesítményszinteket hasonlítunk össze, hanem feszültségek arányát kívánjuk meghatározni. Figyelembe véve a teljesítmény és a feszültség közötti négyzetes viszonyt ($P \sim U^2$), a *dB skálán* a feszültségek viszonya

$$A_{dB} = 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{U_2}{U_1}\right)$$

Az alábbiakban összefoglalunk néhány dB-ben kifejezett feszültségviszonyt.

lineáris skálán	***dB*-ben**	
100000	+ 100	ERŐSÍTÉS (a végső érték nagyobb, mint a viszonyítási feszültség)
10000	+ 80	
1000	+ 60	
100	+ 40	
10	+ 20	
9	+ 19,08	
8	+ 18,06	
7	+ 16,90	
6	+ 15,56	
5	+ 13,98	
4	+ 12,04	
3	+ 9,54	
2	+ 6,02	
1,41	+ 3	
1	**0**	← **REFERENCIASZINT**
0,707	- 3	CSILLAPÍTÁS (a végső érték kisebb, mint a viszonyítási alap)
0,1	- 20	
0,01	- 40	
0,001	- 60	
0,0001	- 80	
0,00001	- 100	

A definíciója szerint, a *dB* két érték arányát jelenti, vagyis *relatív egység*. Ha rögzítjük a viszonyítási alap nagyságát (vagyis a referenciát – ez az akusztikában $2\cdot10^{-4}$ *μbar*), akkor alkalmas lesz *abszolút értékek* megadására is – ebben az esetben értelemszerűen a *dB* egység elnevezése, megjelölése is változik.

(a) **dBm:**

referenciaszint **1 *mW*** $\Rightarrow P_{dBm} = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{P_W}{0{,}001}\right) = 10 \cdot \log_{10}(10^3 \cdot P_W)$

$\Rightarrow P_W = 10^{\left(-3+\frac{P_{dBm}}{10}\right)}$

(b) **dBW:**

referenciaszint **1 *W*** $\Rightarrow P_{dBm} = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{P_W}{1}\right) = 10 \cdot \log_{10}(P_W)$

$\Rightarrow P_W = 10^{\left(\frac{P_{dBW}}{10}\right)}$

(c) **dBV:**

referenciaszint **1 *V*** $\Rightarrow U_{dBV} = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{U_V}{1}\right) = 10 \cdot \log_{10}(U_V)$

$\Rightarrow U_V = 10^{\left(\frac{U_{dBV}}{10}\right)}$

Természetesen a dBm–dBV és a dBV–dBm átalakítások csak az impedancia (ellenállás) pontos ismerete mellett tehetők meg:

$$P_{dBm,R_\Omega} = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{P_W}{0{,}001}\right)$$

$$= 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{U^2}{1}\right) + 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{1}{0{,}001R}\right) = U_{dBV} + 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{1}{0{,}001R}\right) =$$

$$= U_{dBV} + 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{1000}{R}\right) = U_{dBV} + 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{1000}{R}\right) = U_{dBV} + 10 \cdot \log_{10}(1000) + 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{1}{R}\right)$$

Tehát:

$$P_{dBm,R_\Omega} = U_{dBV} + 30 + 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{1}{R_\Omega}\right)$$

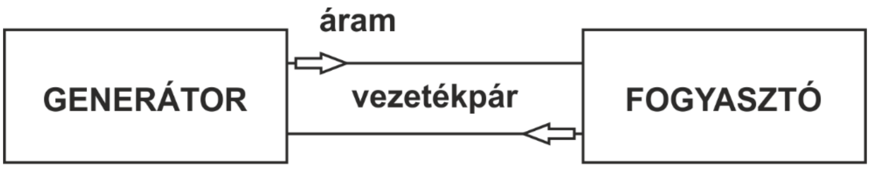
A szakmai gyakorlatban a viszonyítási alapnak tekintett 1 *mW*-os disszipált teljesítmény egy 600 *Ω*-os fogyasztón értendő! Ez egyértelműen 0,775 *mV* referencia-feszültséget és 1,291 *mA* referencia-áramerősséget jelent.

18. AZ ÁRAMKÖRANALÍZIS ALAPJAI

18.1 Áramkörök és hálózatok törvényei

Amint tudjuk, az *elektromos áram* az elektromos töltéssel rendelkező részecskék sokaságának elektromos mező (vagy potenciálkülönbség) hatására kialakuló irányított, rendezett mozgása. Az áram irányát a pozitív töltéshordozók mozgásának az irányával definiáljuk (vagyis a magasabb villamos potenciálú ponttól az alacsonyabb potenciálú fele). Mivel minden anyag rendelkezik rezisztenciával, az áramvezetést biztosító mozgó töltéshordózok energiája folyamatosan csökken az ütközések miatt, ugyanakkor a villamos potenciál is igen hamar kiegyenlítődik és a töltéshordozók mozgása megszűnik (tranziens vagy átmeneti áram). Amennyiben az időtartam szempontjából állandó áramot szeretnénk, azaz a töltéshordozókat állandó és vesztességmentes mozgásban akarjuk tartani, szükséges egy külső energiaforrás, amely pótolja a vesztességeket.

A villamosságtanból megismert legegyszerűbb *áramkör* egy villamos energiaforrásból (generátorból), a villamos energiát felhasználó fogyasztóból és az őket összekötő, energia- és töltéshordozó áramlást biztosító vezetékpárból áll.



18.1 ábra – Egyszerű áramkör

A *generátor* egy olyan energiaátalakító, mely valamilyen fajta energiát (mechanikai, hő, kémiai, villamos stb.) az elektromos töltések mozgásba hozására és mozgásban tartására alkalmas villamos energiává alakít át. Ez az átalakítás töltésszétválasztást eredményez. Működéskor a töltések a generátor egyik kivezetésén át, az összekötő vezetéken és a fogyasztón áthaladva, a generátor másik kivezetéséhez jutnak vissza. Ezért van az, hogy az elágazásmentes áramkörben az áramerősség értéke állandó marad. A *fogyasztó*hoz érve a villamos energiából másfajta energia (hő-, elektromos-, mágneses-, stb.) jön létre.

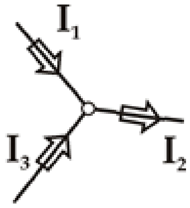
A hálózat fogalma valami ennél bonyolultabbat takar, hiszen az több energiaforrást és fogyasztót, illetve csomópontokat, hurkokat és számos elágazást is tartalmazhat. A *villamos hálózat* nem más, mint az áramköri alkatelemek jól meghatározott módon összeillesztett együttes rendszere. Ezek az alkatelemek, egy jól meghatározott feladat megoldása végett, célszerűen vannak összeválogatva. Összeillesztésük a megoldandó feladat sajátosságainak megfelelő gráf (kapcsolási rajz) alapján történik. Tulajdonképpen egy komplexebb, elágazásos áramkörről van szó.

Minden alkatelemnek meghatározott számú *kivezetés*e vagy *pólus*a van, amiken keresztül más komponensekhez csatlakozhat. A csatlakozási pontok lesznek a hálózat *csomópont*jai amennyiben legalább 3 alkatelem kapcsolódik vagy a villamos hálózat 2 vagy 3 ága csatlakozik egymáshoz. Amit még nagyon fontos megjegyezni az, hogy *a csomópont áramosztó tulajdonsággal rendelkezik*!

Az alkatelemek összekapcsolásával létrehozott villamos hálózatban azonosíthatók olyan zárt kört alkotó részek, amelyekben minden csomópont csakis egyszer szerepel és minden csomóponthoz a hálózatrésznek 2 ága csatlakozik. Az ilyen zárt görbét *hurok*nak nevezzük.

A villamos hálózatokban található csomópontokra és hurkokra két megmaradási törvényt írhatunk fel.

Az első törvény a jólismert *töltésmegmaradás* elvének a kiterjesztése a csomópont viselkedésének leírására. Ennek értelmében egy hálózati csomópont forrásmentes hely, nincs benne töltésfelhalmozódás ezért *a csomópontban találkozó áramok áramerősségeinek algebrai összege zérus* – ezt a szakirodalom *Kirchhoff első hálózati törvénye* vagy *Kirchhoff csomóponti törvénye* néven emlegeti.



18.2 ábra – Kirchhoff csomóponti törvénye

Matematikai alakot adva a fenti kijelentésnek, írhatjuk, hogy:

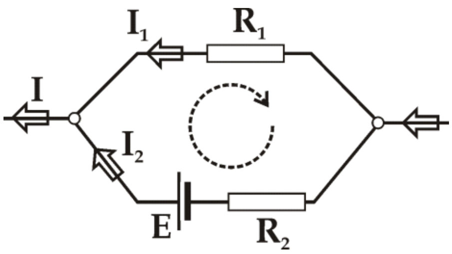
$$\sum_{k=1}^{n} I_k = 0$$

Az algebrai összegben az előjelválasztás szabadon történik, a felhasználó kell eldöntse, hogy a csomópontba befolyó vagy az onnan kifolyó áramok áramerősségeit veszi negatív előjellel. Talán egy fokkal egyszerűbbnek tűnik, ha a csomóponti törvényt úgy fogalmazzuk meg, hogy *a csomópontba befolyó áramerősségek összege megegyezik az onnan kifolyó áramerősségek összegével*:

$$\sum_{i=1}^{n} I_{be_i} = \sum_{j=1}^{m} I_{ki_j}$$

Amint láthatjuk, a csomóponti törvény a párhuzamos (elágazó) áramkörökre vonatkozik. A szóban forgó csomópontoknak, az áramosztás mellett, még van egy igen fontos jellemzőjük,

éspedig az, hogy a csomópont elektromos potenciállal rendelkezik. Ez a potenciál egy másik csomóponthoz képest mérhető, nagysága függ az összekötő elemek rezisztenciájától és az átfolyó áram áramerősségétől.



18.3 ábra – Kirchhoff hurok törvénye

Egy hurokban a potenciálkülönbségek (feszültségek) és a létezésüket biztosító elektromotoros feszültségek közötti kapcsolatot *Kirchhoff második hálózati törvénye* vagy *Kirchhoff huroktörvénye* adja meg:

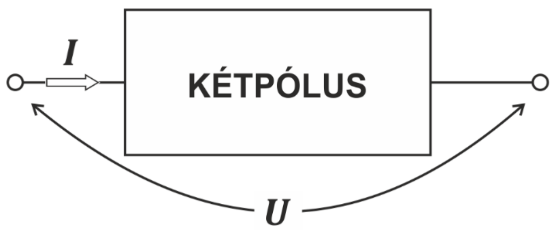
$$\sum_{k=1}^{n} E_k = \sum_{k=1}^{m} I_k R_k$$

A törvény értelmében *bármely zárt áramhurokban a részfeszültségek előjelhelyes összege zérus*, az előjel megállapítása úgy történik, hogy egy tetszőleges irányítású "körüljárási irányt" veszünk fel, a körüljárási irányt egy be nem záródó körvonal végén a nyíl jelzi – azok a feszültségek, amelyeknek értelmezése megegyezik ezzel az iránnyal, pozitív előjellel szerepelnek az összegben.

Észrevehető, hogy ez a törvény sorosan kapcsolt áramköri elemekre vonatkozik és nem más, mint az *energiamegmaradás* elvének kiterjesztése villamos hálózatokra – vagyis megmutatja nekünk azt, hogy mi lesz azzal a villamos energiával, amit a külső tápforrás szolgáltat. Ennek szellemében mondhatjuk azt is, hogy *az áramhurokban a feszültségesések algebrai összege egyenlő a hurok mentén található tápforrások elektromotoros feszültségeinek algebrai összegével*.

18.2 Kétpólusok és helyettesítő tételeik

A legegyszerűbb alkatelem *két kivezetés*sel rendelkezik, ezért *kétpólus*nak nevezzük. Természetesen nemcsak önálló alkatelem, hanem komplexebb hálózat vagy hálózatrész is lehet kétpólus, ha az két csomópont révén csatlakozik más hálózatrészekhez. Viselkedésének szemléltetésére jelleggörbét és helyettesítő kapcsolást szoktunk használni.



18.4 ábra – A kétpólus elvi vázlata

A *jelleggörbe* egy olyan diagram, amely az adott alkatelem jellemző paraméterei közötti kapcsolatot grafikus ábrán adja meg. Legtöbbször az alkatelem két pólusa közötti potenciálkülönbség (feszültség) és az annak hatására meginduló áram áramerőssége közötti kapcsolatot szokták megadni *áram-feszültség karakterisztika* formájában.

A *helyettesítő kapcsolás* egy olyan elméleti jelentőségű áramkör, amely megkönnyíti az alkatelem működésének leírását, megértését. Ha az alkatelem helyettesítő kapcsolása nem tartalmaz (áram vagy feszültség) generátorokat, akkor *passzív alkatelemről* beszélünk. Ilyen az ellenállás, a kondenzátor, a tekercs. Amennyiben az alkatelem helyettesítő képében ott találunk valamilyen generátort is, az alkatelemet *aktív*nak nevezzük. Ilyen a dióda, a tranzisztor, a műveleti erősítő stb. A két legkülönlegesebb passzív kétpólus a *rövidzár*, illetve a *szakadás*. Rajzjeleik:

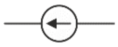
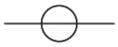
———	—x—
rövidzár	szakadás

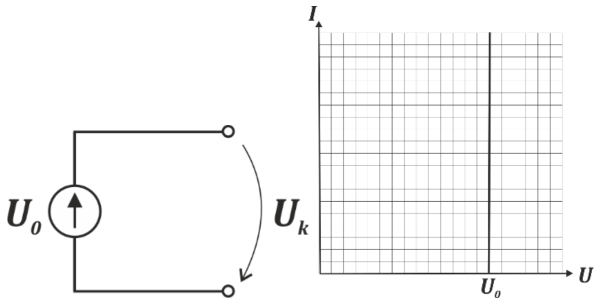
18.5 ábra – Rövidzár és szakadás

A rövidzár zérus ellenállású áramkör szakasz, egy ideális vagy elhanyagolhatóan kis rezisztenciájú vezető és legfontosabb tulajdonága az, hogy a rajta átfolyó áram áramerősségétől függetlenül nincs rajta feszültségesés, azaz minden pontja azonos potenciálon van. A szakadás egy végtelen rezisztenciájú áramkörrésznek felel meg. Jellegzetessége az, hogy bármekkora is legyen a potenciálkülönbség a szakadás két pontja között, ott áram soha nem fog átfolyni.

Az áramkörökben és hálózatokban használt generátorok aktív kétpólusnak tekinthetők. Az elektronikai szakmai gyakorlat során többfajta generátorral találkozhatunk. Az áramtípus szerint *egyenáramú*- és *váltakozóáramú generátorok*ról beszélünk. Ez utóbbi a jelgenerátorok egy igen sajátos fajtája, amely időben változó irányú és nagyságú szinuszos villamos jelt szolgáltat. Az egyenáramú generátorok lehetnek *áram*- vagy *feszültségforrás*ok.

Ha a generátor, abban az áramköri ágban, ahol elhelyezkedik, kivezetései között állandó potenciálkülönbséget (feszültséget) tart fent, *feszültségforrás*ról beszélünk. Amennyiben a generátor az elhelyezkedési ágban állandó áramot szolgáltat, *áramforrás*nak nevezzük. Minden valós generátor rendelkezik, a szerkezeti részei anyagainak tulajdonságaiból adódóan, valamilyen szintű vesztességekkel, amelyek a felhasználható villamos mező energiáját csökkentik és ennek megfelelően feszültségesésként vagy áramerősség csökkenésként észlelhetőek. Ezt a tulajdonságot a *belső ellenállás*nak vagy *belső impedanciá*nak nevezett mennyiséggel jellemezzük.

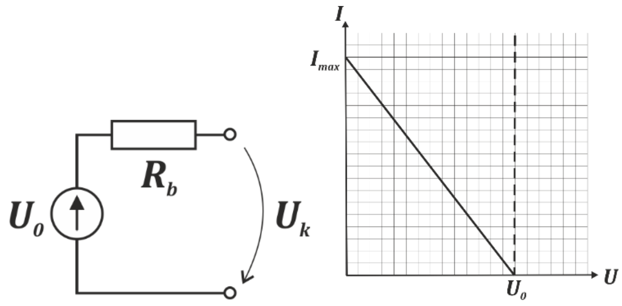
Feszültségforrás:  vagy 



18.6 ábra – Ideális feszültségforrás

Az ideális feszültségforrásnak *nincs belső ellenállás*a. Az U_k kapocsfeszültség a fogyasztótól (terhelő áramtól) függetlenül állandó értékű és a generátor U_0 elektromotoros feszültségével egyenlő:

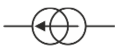
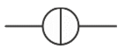
$$U_k = U_0 = konst.$$

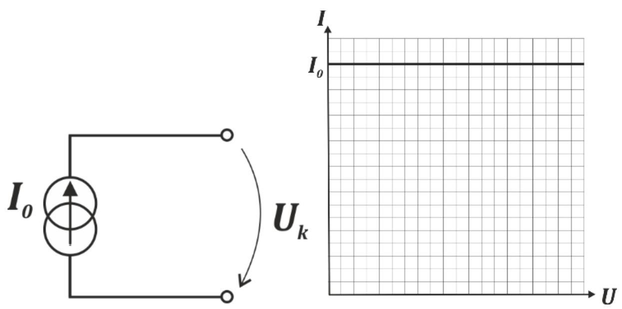


18.7 ábra – Valós feszültségforrás

A valós feszültségforrás esetén az R_b belső ellenállás képviseli az eszköz veszteségeit, ezért a helyettesítő kép egy ideális feszültségforrás és a vele soros veszteségi ellenállásból épül fel:

$$U_k = U_0 - R_b \cdot I \text{ és } I_{max} = U_0 \,/\, R_b$$

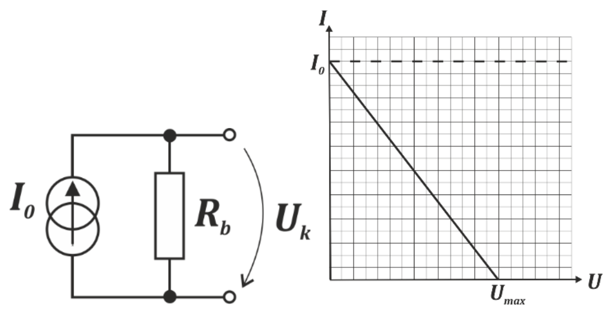
Áramforrás:  vagy 



18.8 ábra – Ideális áramforrás

Az ideális áramforrásnak *nincs belső ellenállás*a. A terhelő árama az U_k kapocsfeszültségtől függetlenül állandó értékű és a generátor I_0 forrásáramával egyenlő:

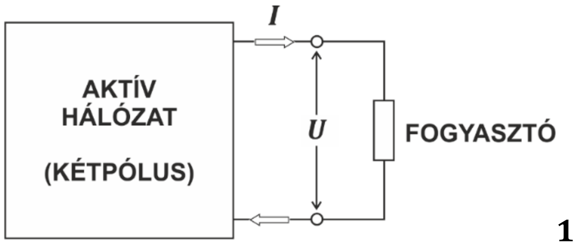
$$I_0 = konst.$$



18.9 ábra – Valós áramforrás

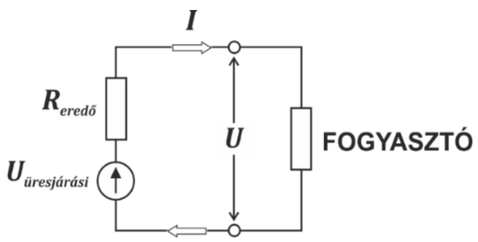
A valós árramforrás esetén az R_b belső ellenállás képviseli az eszköz veszteségeit, ezért a helyettesítő kép egy ideális árramforrás és a vele párhuzamos veszteségi ellenállásból épül fel:

$$I = (U_{max} - U) \,/\, R_b \text{ és } I_0 = U_{max} \,/\, R_b$$

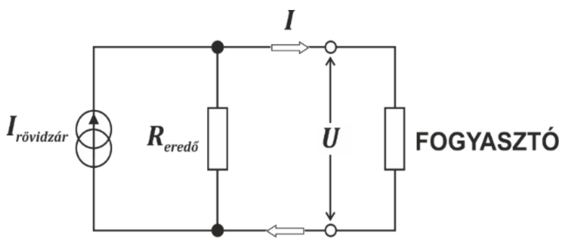


18.10 ábra – A kétpólus és a fogyasztó

Reaktív elemeket (kondenzátorokat, tekercseket) nem tartalmazó aktív-lineáris kétpólusok helyettesítő képét a *Thevenin*-, illetve *Norton*-féle hálózati tételek segítségével kapjuk meg. A *helyettesítő feszültségforrás* (*Thevenin*-féle) hálózati tétele szerint az aktív kétpólus felől nézve, *bármely* csak áram- illetve feszültséggenerátorokat és ellenállásokat tartalmazó *aktív villamos hálózat, helyettesíthető egy valós feszültséggenerátorral* (egy ideális feszültséggenerátorral melynek elektromotoros feszültsége a kétpólus üresjárási feszültsége és egy vele sorba kapcsolt ellenállással, amely a passzívvá tett kétpólus eredő ellenállása). A *helyettesítő áramforrás* (Norton-féle) hálózati tétele szerint *bármely* generátorokból és ellenállásokból álló *aktív kétpólus helyettesíthető egy ideális áramgenerátorral* (forrásáramának áramerőssége a kétpólus rövidzárárama) és *egy vele párhuzamosan kapcsolt eredő ellenállással* (a passzívvá tett kétpólus eredő ellenállása).

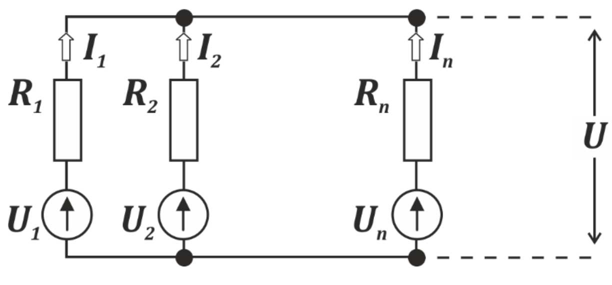


18.11 ábra – A kétpólus *Thevenin*-féle helyettesítő képe



18.12 ábra – A kétpólus *Norton*-féle helyettesítő képe

A Norton-tétel a Thevenin-tétel kiegészítése. Nemcsak ellenállásokra, hanem egyetlen váltakozó frekvenciát tartalmazó rendszerek esetén impedanciákra is alkalmazható. Az aktív kétpólus passziválása azt feltételezi, hogy az aktív áramkori elemek (feszültség- vagy áramforrás) hatását megszüntessük – ezért a feszültségforrást rövidzárral, az áramforrást megszakítással helyettesítjük. A Norton-féle tétel egyik következménye a *Millman tétel* néven ismert *párhuzamos generátorok elve*.

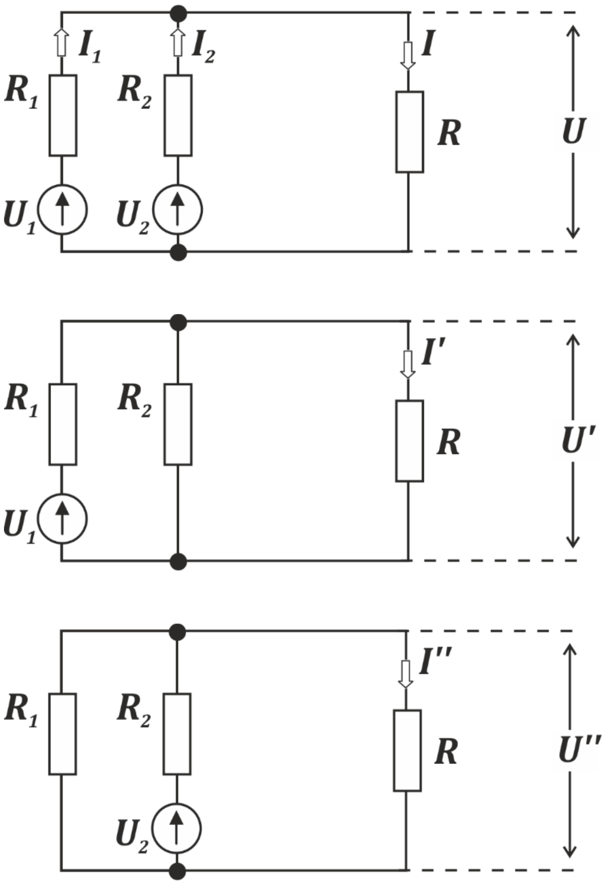


18.13 ábra – A *Millman* tétel

A tétel értelmében *a hálózat kijelölt végpontjain keletkező feszültség egyenlő a csomóponti áramkörbe befolyó összes áram és a csomóponti áramkör teljes vezetőképességének hányadosával*. Természetesen az „összes áram” a hálózat egyes ágaiban folyó áramok összege, a csomóponti áramkör teljes ekvivalens vezetőképesség pedig az áramkör egyes ágai vezetőképességének összege, mivel minden egyes ág párhuzamosan kapcsolt. Az ekvivalens vezetőképesség számításakor az összes generátort ki kell kapcsolni, így az összes feszültséggenerátort rövidzár, az összes áramgenerátort szakadás helyettesíti (= passziválás).

$$U = \frac{\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \cdots + \frac{U_n}{R_n}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}}$$

A *szuperpozíció tétele* lineáris mennyiségek (feszültség, áramerősség) számítására alkalmazható és használható egyen- és váltakozó áramnál is (természetesen váltakozó áramnál figyelembe kell venni az induktív és kapacitív tagokat, és komplex módon kell számolni). A tétel értelmében *a többgenerátoros hálózatban az eredő gerjesztés (áramerősség) kiszámítható az egyes generátorok által létrehozott részgerjesztések (áramerősségek) összegeként*.



$$I = \frac{1}{R} \cdot \frac{\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R}}$$

$$I' = \frac{1}{R} \cdot \frac{\frac{U_1}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R}}$$

$$I'' = \frac{1}{R} \cdot \frac{\frac{U_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R}}$$

18.14 ábra – A szuperpozíció tétele

Hogyan alkalmazzuk ezt a gyakorlatban? Elsősorban az *adott áramkörökben egy generátort meg kell hagyni, a többi generátort helyettesíteni kell* (passzívizálás történik, vagyis az áramgenerátorokat szakadással, a feszültséggenerátorokat rövidzárral helyettesítjük majd). Az így kapott áramkörökben ki kell számolni a generátorok által létrehozott részfeszültségek és részáramok értékét. Minden generátorral ezt meg kell ismételni. A végeredményt úgy kapjuk meg, hogy az egyes részeredményeket előjelesen összeadjuk.

18.3 Négypólusok jellemzése

Azt a hálózatrészt, amely 2 csomópontpárral (vagy póluspárral) csatlakozik a villamos hálózat többi részéhez úgy, hogy egy póluspár két vezetőjén folyó áramok egymással egyenlők, *négypólus*-nak nevezzük. A négypólusok régebbi szakirodalmi elnevezései *kétpóluspár* vagy *kétkapu*. Az egyik csomópontpár képezi a bemeneti, a másik pedig a kimeneti oldalt (nem feltétlenül felcserélhetők – a szimmetria nem kötelező!).



18.15 ábra – A négypólus elvi vázlata

A párokhoz rendelt feszültségek és áramok kölcsönös viszonyait *karakterisztikus egyenletek* révén adják meg. Ezek az egyenletek a kölcsönös viszony leírására *négypólus paraméterek*nek nevezett mennyiségeket használnak.

- a négypólus *impedancia* (Z) *paraméterei*:

$$\begin{cases} U_{be} = Z_{11} \cdot I_{be} + Z_{12} \cdot I_{ki} \\ U_{ki} = Z_{21} \cdot I_{be} + Z_{22} \cdot I_{ki} \end{cases}$$

ahol: $Z_{11} = \dfrac{U_{be}}{I_{be}} \quad (I_{ki} = 0)$ = *bemeneti impedancia* nyitott kimenet esetén

$Z_{12} = \dfrac{U_{be}}{I_{ki}} \quad (I_{be} = 0)$ = *átviteli* (*transzfer*) *impedancia* nyitott bemenet esetén

$Z_{21} = \dfrac{U_{ki}}{I_{be}} \quad (I_{ki} = 0)$ = *átviteli* (*transzfer*) *impedancia* nyitott kimenet esetén

$Z_{22} = \dfrac{U_{ki}}{I_{ki}} \quad (I_{be} = 0)$ = *kimeneti impedancia* nyitott bemenet esetén

- a négypólus *admittancia* (Y) *paraméterei*:

$$\begin{cases} I_{be} = Y_{11} \cdot U_{be} - Y_{12} \cdot U_{ki} \\ I_{ki} = -Y_{21} \cdot U_{be} + Y_{22} \cdot U_{ki} \end{cases}$$

ahol: $Y_{11} = \dfrac{I_{be}}{U_{be}}$ $(U_{ki} = 0)$ = *bemeneti admittancia* rövidre zárt kimenet esetén

$Y_{12} = -\dfrac{I_{be}}{U_{ki}}$ $(U_{be} = 0)$ = *átviteli* (*transzfer*) *admittancia* rövidre zárt bemenet esetén

$Y_{21} = -\dfrac{I_{ki}}{U_{be}}$ $(U_{ki} = 0)$ = *átviteli* (*transzfer*) *admittancia* rövidre zárt kimenet esetén

$Y_{22} = \dfrac{I_{ki}}{U_{ki}}$ $(U_{be} = 0)$ = *kimeneti admittancia* rövidre zárt bemenet esetén

- a négypólus *hibrid* (h) *paraméterei*:

$$\begin{cases} U_{be} = h_{11} \cdot I_{be} + h_{12} \cdot U_{ki} \\ I_{ki} = -h_{21} \cdot I_{be} + h_{22} \cdot U_{ki} \end{cases}$$

ahol: $h_{11} = \dfrac{U_{be}}{I_{be}}$ $(U_{ki} = 0)$ = *bemeneti impedancia* rövidre zárt kimenet esetén

$h_{12} = \dfrac{U_{be}}{U_{ki}}$ $(I_{be} = 0)$ = *feszültségvisszahatás* nyitott bemenet esetén

$h_{21} = -\dfrac{I_{ki}}{I_{be}}$ $(U_{ki} = 0)$ = *áramerősítési tényező* rövidre zárt kimenet esetén

$h_{22} = \dfrac{I_{ki}}{U_{ki}}$ $(I_{be} = 0)$ = *kimeneti admittancia* nyitott bemenet esetén

Észrevehető, hogy az impedancia vagy admitancia paraméterekkel ellentétben, a fenti definíciók segítségével meghatározott hibrid paraméterek fizikai tartalma különböző (két dimenzió nélküli és egy-egy különböző mértékegységgel rendelkezik)!

Könnyedén belátható, hogy a négypólus működésének legmegfelelőbb jellemzője az úgynevezett *feszültségátvitel*, azaz a kimeneti és a bemeneti feszültségek aránya.

Ez egy mértékegység nélküli mennyiség és megmutatja azt, hogy milyen a négypólus elektromos jelátvitele:

$$A_U = \frac{U_{ki}}{U_{be}}$$

Amennyiben A_u nagyobb mint 1, *feszültségerősítés*-ről beszélünk. Az egységnyinél kisebb feszültségátvitel a szakmai gyakorlatban *feszültségcsillapítás* néven ismert.

Úgy a feszültségerősítési, mint a feszültségcsillapítási viszonyszámok vagy arányok helyett logaritmikus mérőszámot is használhatunk. Ha a tízes alapú logaritmust használjuk, akkor az erősítés értékét *decibel*-ben (dB) adjuk meg:

$$A_{U_{dB}} = 20 \cdot lg\left(\frac{U_{ki}}{U_{be}}\right)$$

19. KOMPLEX SZÁMOK MÓDSZERE

Az időben szinuszosan változó villamos jelek és mennyiségek elméleti leírása, illetve tanulmányozása viszonylag könnyen megtehető egy olyan szimbolikus módszerrel, amely a komplex számok tulajdonságain alapszik. A módszer lehetőséget ad arra, hogy ezeket a mennyiségeket és a közöttük létező összefüggéseket egyszerű és szuggesztív algebrai egyenletekkel adjuk meg, valamint az egyenáramú hálózatok elemzésénél használt tételeket és törvényeket is a megszokott egyszerű formában használjuk.

A komplex számokra a valós számok kiterjesztéseként van szükség azért, hogy olyan esetek is megoldhatóak legyenek, amelyeknek a valós számok halmazán nincs megoldása. A legegyszerűbb példa erre a $r^2 = -1$ másodfokú egyenlet, amelyeknek a valós számok között nincs megoldása, mivel $\sqrt{-1}$ nincs értelmezve ezen a halmazon.

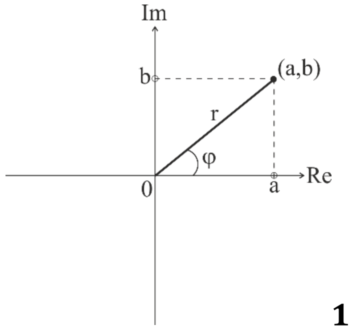
Komplex szám-nak nevezünk minden olyan rendezett valós számpárt, amelyre az egyenlőséget, az összeadást, a kivonást, illetve a szorzás és az osztás műveleteit az alábbiakban felsorolt előírások jellemzik.

Egyenlőség:	$(a, b) = (c, d) \Leftrightarrow a = c\ , b = d$
Összeadás:	$(a, b) + (c, d) = (a + c, b + d)$
Kivonás:	$(a, b) - (c, d) = (a - c, b - d)$
Szorzás:	$(a, b) \cdot (c, d) = (a \cdot c + b \cdot d, a \cdot d\ + b \cdot c)$
Osztás:	$\frac{(a, b)}{(c, d)} = \left(\frac{a \cdot c - b \cdot d}{c^2 + d^2}, \frac{-a \cdot d\ + b \cdot c}{c^2 + d^2}\right)$

A komplex számok halmazában ($\mathbb{C} = \mathbb{R} \times \mathbb{R}$) *imaginárius* (*képzeletbeli*) *egység*-nek nevezzük azt a számot, amelynek négyzete -1. Az imaginárius egységet helyzettől függően i-vel vagy j-vel szoktuk jelölni és igaz rá, hogy:

$$j = \sqrt{-1}\ , j^2 = -1, j^3 = -j, j^4 = +1 \dots j^n = j^{n\ mod\ 4}$$

Legyen $z \in \mathbb{C}$, $z = (a, b)$ egy komplex szám. A *kanonikus* (*algebrai*) *alakja* $\overline{z} = a + j \cdot b$, ahol $a = Re(\overline{z})$ a komplex szám *valós része*, $b = Im(\overline{z})$ pedig az úgynevezett *imaginárius* (*képzetes*) *része*. A komplex számokat grafikusan is szemléltethetjük a Gauss-féle *komplex számsík*-ban (Argand-diagram).



19.1 ábra – Az Argand diagram

Észrevehető, hogy: $a = Re(\overline{z}) = r \cdot cos\varphi$
$b = Im(\overline{z}) = r \cdot sin\varphi$
$$tg\varphi = \frac{b}{a} = \frac{Im(z)}{Re(z)}$$
$$r^2 = a^2 + b^2$$

Az $r = \sqrt{a^2 + b^2}$ mennyiség *a komplex szám modulusa* (*abszolút értéke*), φ pedig az *irányszöge* (*argumentuma*). Ezekből az összefüggésekből következik *a komplex szám trigonometriai alakja*: $\overline{z} = r \cdot (cos\varphi + j \cdot sin\varphi)$

A $\overline{z}^* = a - jb$ alakban felírt komplex számot a *z komplex konjugáltja*. Egy komplex számnak és komplex konjugáltjának szorzatára, illetve a komplex szám modulusára igaz, hogy $\overline{z} \cdot \overline{z}^* = r^2$.
Megadható *a komplex szám exponenciális alakja* is: $\overline{z} = r \cdot e^{j\varphi}$

Ha figyelembe vesszük az eddig felsoroltakat, akkor:

$$\overline{z}^n = r^n \cdot [cos(n\varphi) + jsin(n\varphi)] = r^n \cdot e^{jn\varphi}$$

$$\sqrt[n]{\overline{z}} = \sqrt[n]{r} \cdot \left[cos\left(\frac{\varphi+2k\pi}{n}\right) + jsin\left(\frac{\varphi+2k\pi}{n}\right)\right] = \sqrt[n]{r} \cdot e^{j\frac{\varphi+2k\pi}{n}}, \text{ ahol } 0 \leq k \leq n-1$$

A jelen könyv célkitűzéseit is szem előtt tartva, a komplex számok széleskörű alkalmazásai közül kiragadjuk az időfüggő villamos jelek és mennyiségek világát.

Ha egy villamos jel pillanatnyi értékének időfüggvényét az

$$u(t) = U_{max} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

összefüggés adja meg, ahol ω az időfüggést jellemző körfrekvencia és φ az áram és feszültség közötti fáziseltolódás, akkor ez a pillanatnyi érték igen könnyen átalakítható komplex időfüggvénnyé.

Szükséges lesz bevezetni egy, a komplex matematikát és a fizikai információt összekötő tetszőleges egyezményt. Leggyakrabban, a közös megegyezés szerint, a fizikai információt a komplex szám képzetes része fogja szolgáltatni (a valós rész, mint velejáró, csak a matematikai műveletvégzések szempontjából jut szerephez – természetesen, amennyiben az időfüggést koszinuszos törvény adja meg, az egyezmény azt fogja előírni, hogy a fizikai információt a komplex szám valós része hordozza majd).

Mindezek értelmében, a komplex időfüggvény pillanatnyi értéke a

$$\bar{u}(t) = U_{max} \cdot e^{j(\omega t+\varphi)} = U_{max} \cdot e^{j\varphi} \cdot e^{j\omega t}$$

alakban írható fel, a komplex csúcsérték és effektív érték pedig

$$\overline{U}_{max} = U_{max} \cdot e^{j\varphi}$$

$$\overline{U}_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} \cdot e^{j\varphi}$$

A frekvenciafüggő kétpólusok és négypólusok leírására bevezetett frekvenciafüggő *impedancia* is megadható komplex formában:

$$\overline{Z} = Re(\overline{Z}) + jIm(\overline{Z})$$

és az $Im(\overline{Z}) = 0$ vagy a $tg\varphi = \frac{Im(\overline{Z})}{Re(\overline{Z})}$ feltételekből igen könnyen levezethető a rezonanciafeltétel, a sajátfrekvencia vagy meghatározható az áram és a feszültség közötti fáziseltolódás.

Ha a passzív áramköri alkatelemek frekvenciafüggő viselkedését szeretnénk jellemezni és megadni, akkor komplex formalizmusban felírhatók a következő összefüggések:

az R rezisztenciájú ohmikus ellenállásra … $\overline{Z}_R = R + j0$

az ideális, L induktanciájú tekercsre … $\overline{Z}_L = 0 + j(2\pi f L)$

a valós, L induktanciájú és r veszteségi rezisztenciájú tekercsre … $\overline{Z}_L = r + j(2\pi f L)$

az ideális, C kapacitású kondenzátorra … $\overline{Z}_C = 0 + \frac{1}{j(2\pi f C)} = 0 - j\frac{1}{(2\pi f C)}$

Felhasználva ezeket az összefüggéseket, egy hálózatban előforduló és komplex formában felírt áramok, illetve feszültségek közötti kapcsolat az egyenáramú Ohm-törvényhez hasonló alakban lesz felírható, ugyanakkor a Kirchhoff-törvények és a többi egyenáramú hálózatszámítási módszer is általánosítható lesz szinuszos hálózatok megoldására.

Mindemellett igen fontos szerep jut a komplex számos leírásnak akkor, amikor a rendszert leíró átviteli függvény időfüggő. Az erősítők, szűrők és rezgéskeltők időbeli amplitúdó- és

fázisviselkedésének tanulmányozása elképzelhetetlen a komplex számok és a Bode diagram nélkül.

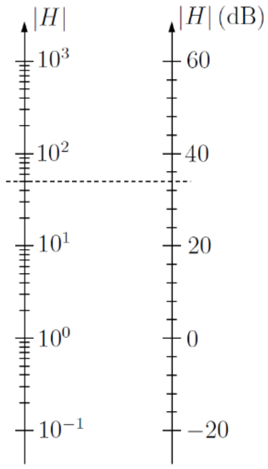
20. A BODE DIAGRAM

A Bode diagramok szerkesztésének elméletét az *Elektronika* és az *Elektrotechnika* jelanalízissel foglalkozó része, illetve a *Rendszerelmélet* és az *Irányítástechnika* tárgyalja.

Amennyiben egy lineáris négypólus, a frekvenciafüggetlen, ohmikus összetevők mellett reaktív elemeket is tartalmaz, feszültségátvitele a különböző munkafrekvenciákon eltérő értékű lehet. Ugyanakkor a bemenő és kimenő jelek között fáziseltolodás jelenhet meg, ami szintén más és más értéket vesz fel a frekvencia függvényében. Ezért a szakmai gyakorlatban igen fontos tudni, hogyan alakul a kimeneti feszültség amplitúdója és fázishelyzete a különböző munkafrekvenciákon. A lineáris hálózatok esetében, amennyiben azok bemenetére időben szinuszosan változó jel kerül, viszonylag könnyen mérhető lesz úgy a bemeneti, mint a kimeneti jel amplitúdója és fázisa és ezáltal a hálózat jelátviteli szempontból jellemezhetővé válik. A négypólusok munkafrekvencia függésének szemléletes grafikus megadási módja a *Bode diagram,* amely egy kétrészes, logaritmikus léptékű amplitúdó-fázis karakterisztika, amelyben az *amplitúdókarakterisztika* rész a feszültségátvitel, a *fáziskarakterisztika* rész pedig a kimeneti feszültség fázishelyzetének alakulását mutatja be a frekvencia függvényében.

Az *amplitúdókarakterisztika* az átviteli karakterisztika abszolút értékének frekvenciafüggését szemlélteti úgy, hogy a vízszintes tengelyen a frekvenciát (vagy körfrekvenciát), a függőlegesen a decibelekben kifejezett feszültségátvitelt ábrázoljuk.

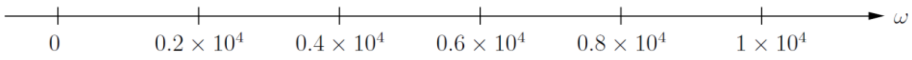
A *fáziskarakterisztika* feladata, hogy az átviteli karakterisztika árkuszának (szögének) frekvenciafüggését rajzolja ki, de ebben az esetben a fázisszöget lineáris skálán kell ábrázolni (rendszerint fokokban vagy radiánban kifejezve). A két részdiagramot egymás fölött helyezik el úgy, hogy a vízszintes (frekvencia vagy körfrekvencia) tengely a két diagramon fedésben legyen.



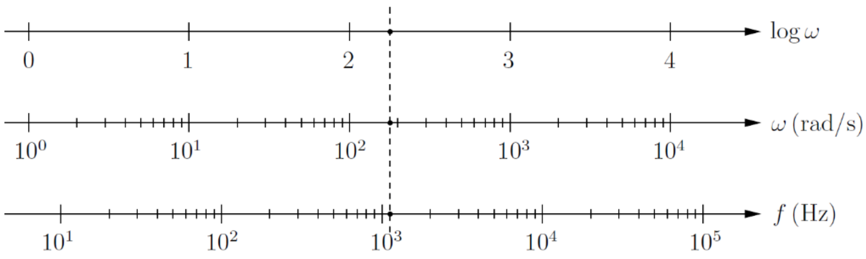
20.1 ábra – Az átvitel összehasonlítása lineáris és logaritmikus skálákon

Mindkét karakterisztika esetén a frekvencia- vagy a körfrekvencia-tengely logaritmikus léptékű (de a lineáris egységben megadott értékeket tűntetjük fel rajta).

A vízszintes tengelyen két szomszédos érték távolsága a *dekád* nevet viseli (a nagyobb szomszéd mindig a kisebbik érték 10-szerese).



20.2 ábra – Körfrekvencia lineáris skálán



20.3 ábra – Körfrekvencia logaritmikus skálán

Komplex számítási formalizmust használva, szinuszos gerjesztés esetén, a lineáris hálózat komplex átviteli függvénye:

$$\overline{H}(\omega) = \frac{\overline{U}_{ki}}{\overline{U}_{be}} = |\overline{H}(\omega)| \cdot e^{j\theta(\omega)}$$

ahol az átviteli függvény abszolút értékét a

$$|\overline{H}(\omega)| = \sqrt{[Re\{\overline{H}(\omega)\}]^2 + [Im\{\overline{H}(\omega)\}]^2}$$

kifejezés adja meg, a fáziseltolódás frekvenciafüggvénye pedig a komplex átviteli függvény képzetes és a valós részének a hányadosával képezzük az alábbi módon

$$\theta(\omega) = arctg\left[\frac{Im\{\overline{H}(\omega)\}}{Re\{\overline{H}(\omega)\}}\right]$$

Bevezetve a komplex frekvencia fogalmát ($j\omega \rightarrow s$), az „új" $H(s)$ átviteli függvény felírható két polinom hányadosaként, egy racionális törtfüggvény alakjában:

$$H(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b_0 + b_1 s + \cdots + b_m s^m}{a_0 + a_1 s + \cdots + a_n s^n}$$

Célszerű lesz majd ezt átírni gyöktényezős (pólus-zérus) alakba:

$$H(s) = K \cdot \frac{(s - z_1) \cdot (s - z_2) \cdot \ldots \cdot (s - z_m)}{(s - p_1) \cdot (s - p_2) \cdot \ldots \cdot (s - p_n)}$$

ahol a z_i-k a $B(s)$ polinom gyökei (a rendszer ú.n. *zérus*ai), a p_i-k jelölik a rendszer ú.n. *pólus*ait, vagyis az $A(s) = 0$ egyenlet gyökeit, K jelöli a két polinom legmagasabb fokszámú tagjai együtthatóinak hányadosát. Ebből az alakból kifejezhető az átviteli függvény *Bode-normált* alakja:

$$H(s) = k \cdot \frac{\left(1 - \frac{s}{z_1}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{z_2}\right) \cdot \ldots \cdot (1 - \frac{s}{z_m})}{\left(1 - \frac{s}{p_1}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{p_2}\right) \cdot \ldots \cdot (1 - \frac{s}{p_n})}$$

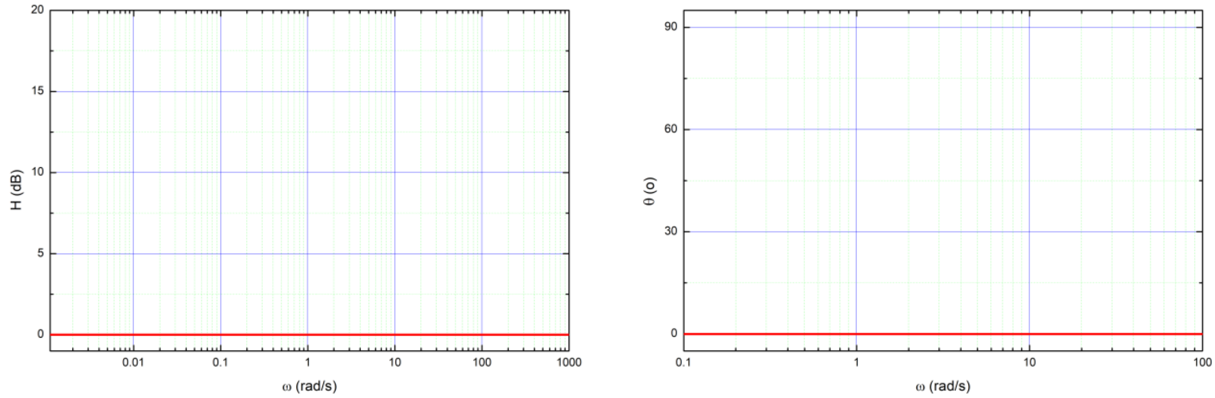
ahol k fogja jelölni a két polinom nulladfokú tagjainak hányadosát. A visszahelyettesítés ($s \to j\omega$) után megrajzolhatóvá válik a kétszeres logaritmikus koordinátarendszerben a törtvonalas Bode diagram.

A komplex számos általános megközelítésben a leíráshoz és a szerkesztéshez szükséges matematikai eszköztár nehézkésnek tűnhet, de sokat könnyít a szerkesztési gyakorlaton az, hogy az átviteli függvény számos, jól meghatározott kifejezésű alaptagja megtalálható szemléletes táblázatolt formában. Ezek az úgynevezett *Bode építőkockák* vagy *alaptagok,* amelyek megadják az adott Bode diagram alakját, de használatuk a $H(s)$ átviteli függvényt időállandós alakjának felírásához kötött:

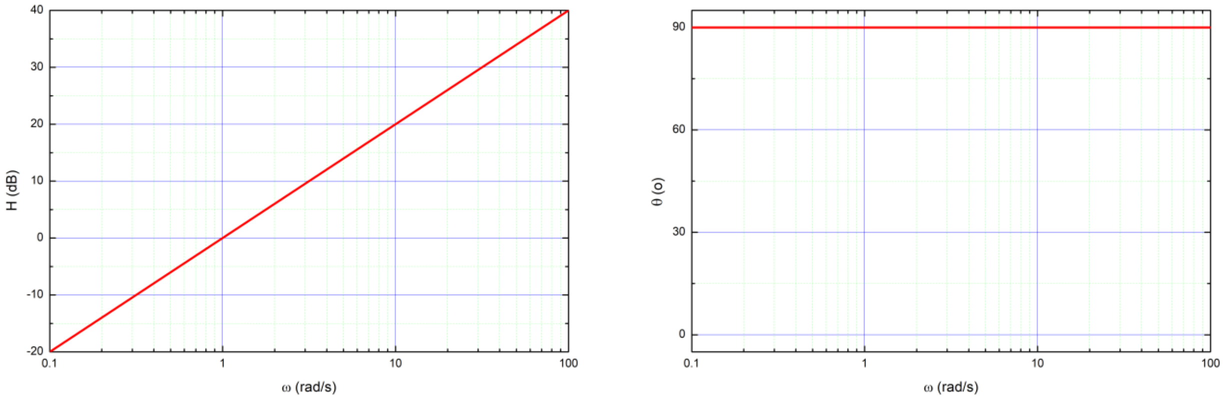
$$H(s) = \frac{C(s)}{T_n s^n + T_{n-1} s^{n-1} + \cdots + T_1 s + 1}$$

A nevezőben található polinom fokszáma adja majd meg, hogy hány tárolós a tag (az n-ed fokú polinom n tárolós tagot jelent, a rövidített jelölése pedig nT). A számlálóban található elem, $C(s)$, három különböző értéket vagy alakot vehet fel, ezek $C(s) = A$ és akkor ennek a tagnak a neve *arányos* (P), $C(s) = As$ és akkor ennek a tagnak a neve *differenciáló* (D), illetve $C(s) = A/s$ és akkor ennek a tagnak a neve *integráló* (I). Mindhárom esetben A egy s-től vagy ω-től független állandó.

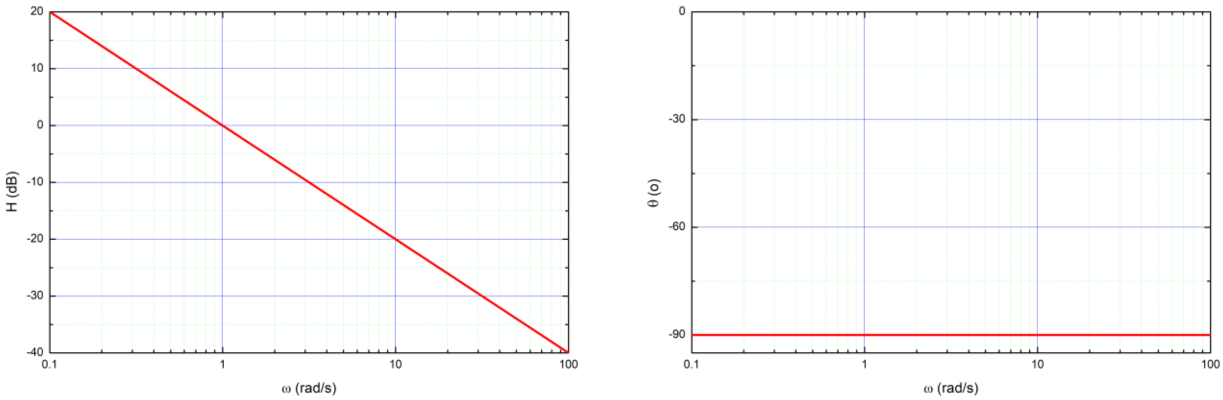
Az alaptagok (építőkockák) átvitelét és fázismenetét 0-tól 2 tárolóig a továbbiakban szemléltetjük (minden esetben $A = 1$).



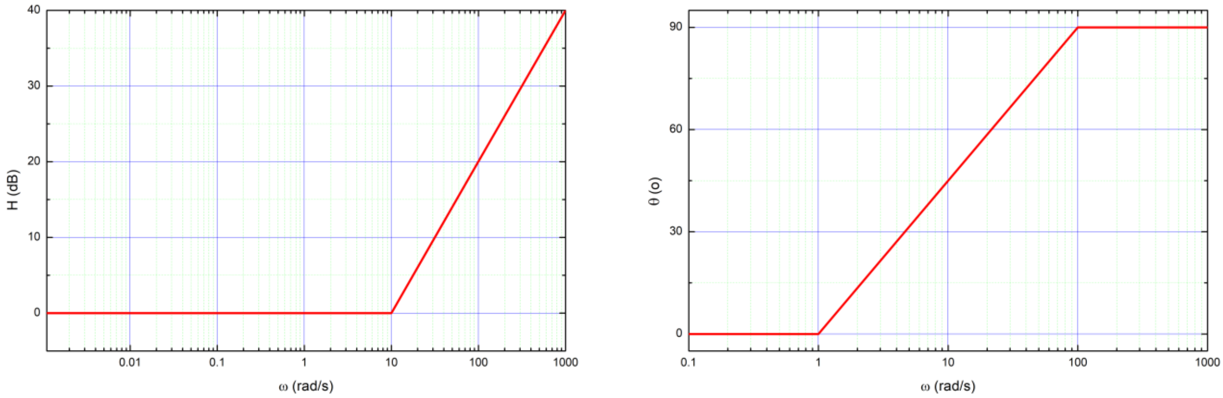
20.4 ábra – Tároló nélküli alaptag $H(\omega) = 20 \cdot lg(1) = 0$



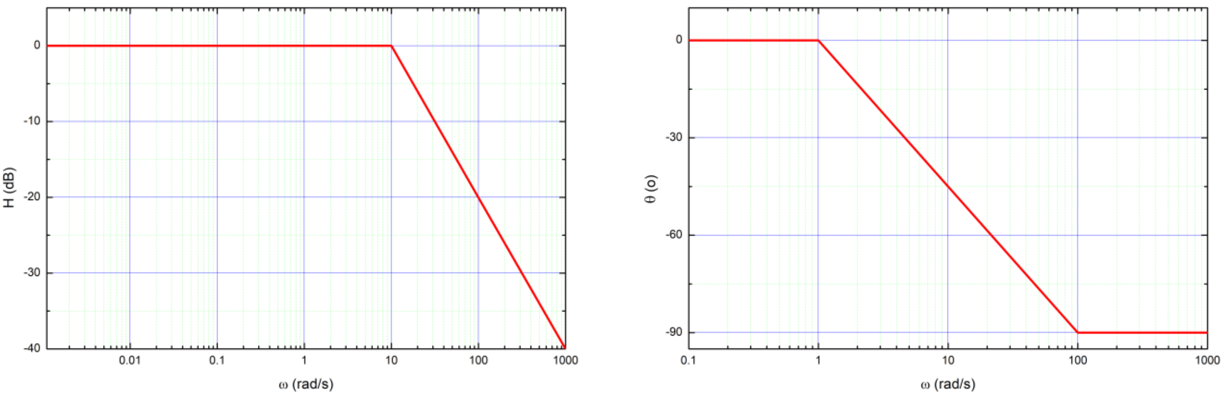
20.5 ábra – Egy tárolós differenciáló alaptag $H(\omega) = 20 \cdot lg(s)$



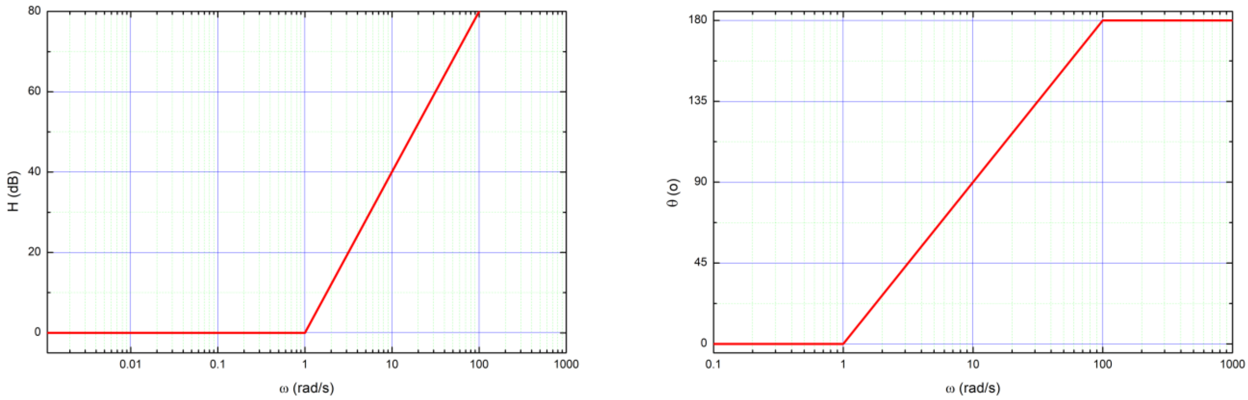
20.6 ábra – Egy tárolós integráló alaptag $H(\omega) = 20 \cdot lg(1/s)$



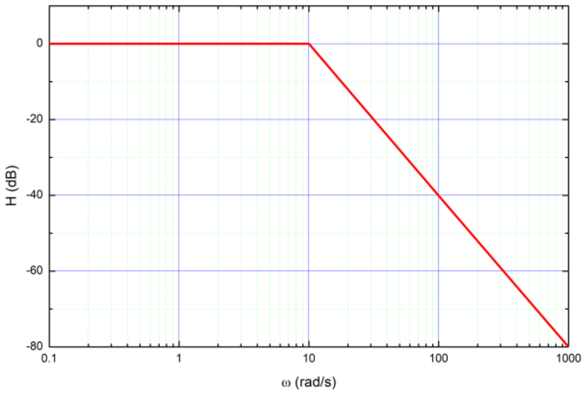
20.7 ábra – Egy tárolós alaptag $H(\omega) = 20 \cdot lg(1 + s)$

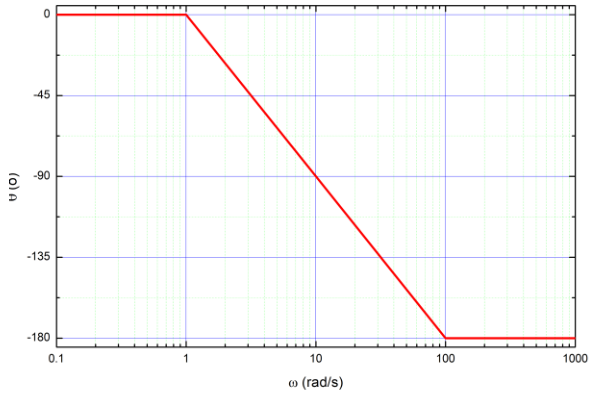


20.8 ábra – Egy tárolós alaptag $H(\omega) = 20 \cdot lg(1/(1 + s))$



20.8 ábra – Két tárolós alaptag $H(\omega) = 20 \cdot lg(1 + 2\xi s + s^2)$





20.9 ábra – Két tárolós alaptag $H(\omega) = 20 \cdot lg(1/(1 + 2\xi s + s^2))$

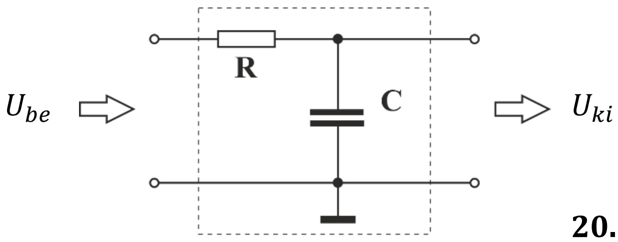
Természetesen amennyiben $A \neq 1$, a grafikonok $20 \cdot \lg |A|$ értékkel tolódnak a megfelelő irányba.

A bemutatott építőkockák használatának számos előnye van:

- ✓ grafikusan egyeneseket adunk össze
- ✓ a szorzat vagy tört alakban felírt transzferfüggvény logaritmusa a tényezők logaritmusainak összege, illetve különbsége lesz
- ✓ a szorzat vagy tört alakban felírt transzferfüggvény fázisa a számláló és a nevező fázisának különbsége lesz
- ✓ a számláló és a nevező fázisa a tényezők fázisának összege
- ✓ a kétszer logaritmikus koordinátarendszerben a hatványfüggvények egyenesek lesznek
- ✓ az építőkockák aszimptotái nulladfokú, elsőfokú, illetve másodfokú hatványfüggvények

Egyszerű, szemléltető példaként érdemes megvizsgálni egy aluláteresztő RC szűrő frekvenciafüggő viselkedését, amely akár kézi számolások útján is könnyedén tanulmányozható. Az aluláteresztő szűrők olyan négypólusok, melyek a kisfrekvenciájú (törési frekvencia alatti) jeleket változatlanul átengedik, a nagyfrekvenciájú jeleket pedig a frekvencia növekedésével arányosan csillapítják.

A legegyszerűbb aluláteresztő szűrő passzív típusú, azaz egy ellenállásból és kondenzátorból kialakított feszültségosztó:



20.10 ábra – Az RC aluláteresztő passzív szűrő

Ha a kézi számolásos utat választjuk célszerű lesz a következő lépéseket követni:

(a) felírjuk a feszültségátvitel frekvenciafüggő kifejezését komplex formalizmusban:

$$\overline{H}_U(\omega) = \frac{\overline{U}_{ki}}{\overline{U}_{be}} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC} = \frac{1 - j\omega RC}{1 + (\omega RC)^2}$$

(b) meghatározzuk a komplex feszültségátvitel modulusát:

$$|\overline{H}_U(\omega)| = H_U(\omega) = \sqrt{Re\{\overline{H}_U(\omega)\}^2 + Im\{\overline{H}_U(\omega)\}^2} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}$$

(c) felírjuk a szűrő által előidézett fáziseltolodás frekvenciafüggését:

$$tg\theta = \frac{Im\{\overline{H}_U(\omega)\}}{Re\{\overline{H}_U(\omega)\}} = \frac{\frac{-\,\omega RC}{1 + (\omega RC)^2}}{\frac{1}{1 + (\omega RC)^2}} = -\,\omega RC \qquad \Rightarrow \qquad \theta(\omega) = arctg(-\,\omega RC)$$

(d) beazonosítjuk a határfrekvenciát (törési frekvenciát):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

(e) újra felírjuk a feszültségátvitelt és a fáziseltolódást, most már a határfrekvencia függvényében:

$$H_U(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}}$$

$$\theta(f) = -\,arctg\left(\frac{f}{f_0}\right)$$

(f) kiszámoljuk a feszültségátvitel és a fáziseltolódás értékeit különböző munkafrekvenciákra az f/f_0 arány szerint úgy, hogy az rendre megfeleljen a (0, +∞) értéktartományban olyan „kerek” értékeknek, mint a 0; 1/100; 1/10; 1; 10; 100; 1000, stb.

(g) a kiszámolt értékekkel kitöltünk egy, az alábbihoz hasonló táblázatot:

$\frac{f}{f_0}$	0	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{10}$	1	10	100	1000	...	$+\infty$
$H_U(f)$	1	0,99995	0,995	0,707	0,0995	0,01	0,001	...	0
$H_U(f)_{dB}$	0	$-0{,}0004$	$-0{,}0432$	$-3{,}01$	$-20{,}043$	-40	-60	...	$-\infty$
$tg\theta$	0	$-\frac{1}{100}$	$-\frac{1}{10}$	-1	-10	-100	-1000	...	$-\infty$
$\theta(f)$	0	$-0{,}6^o$	$-5{,}7^o$	-45^o	$-84{,}3^o$	$-89{,}4^o$	$-89{,}4^o$	...	-90^o

(h) ábrázoljuk, a frekvenciaarányok logaritmikus léptéke szerint, a dB-ben kifejezett feszültségátvitelt és a fáziseltolodást

Amennyiben bonyolultabb felépítésű vagy többtárolós négypólusokról van szó, úgy a „kézi" komplex formalizmusos számítások, mint a táblázat kitöltése eléggé körülményes lehet. Ilyenkor járhatóbb útnak bizonyul a Bode építőkockás módszer.

Első lépésben képezzük a komplex frekvenciás, új átviteli függvényt, melynek alakja:

$$\overline{H}_U(s) = \frac{1}{1 + sRC} = \frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_0}}$$

lesz, ahol $j\omega = s$ és $\omega_0 = 1/RC$. Belátható, hogy lineáris skálán ez az átvitel

$$H_U(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} = \begin{cases} 1 \leftrightarrow \omega \ll \omega_0 \\ \left(\frac{\omega_0}{\omega}\right) \leftrightarrow \omega \gg \omega_0 \end{cases}$$

lesz, dB-ben kifejezve pedig:

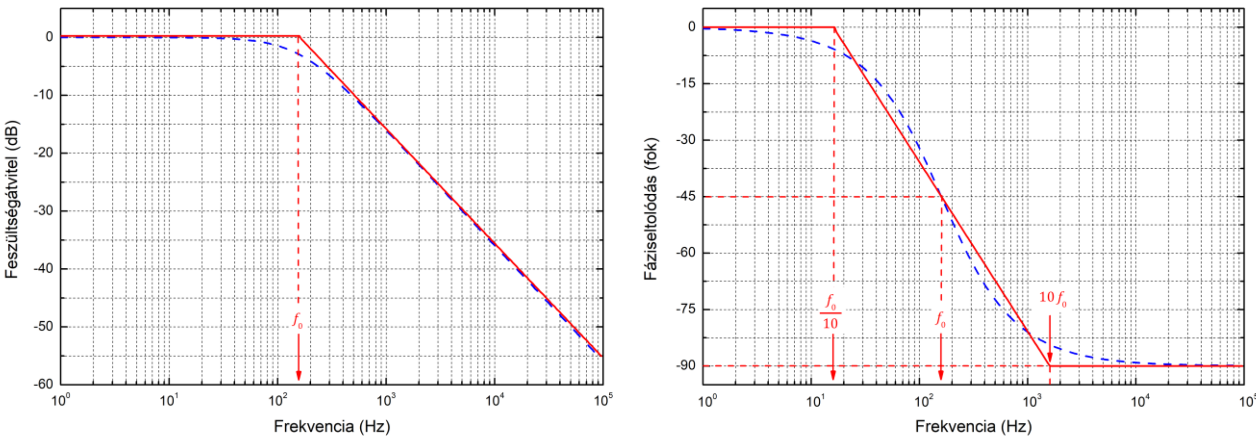
$$20 \cdot lg\left(\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}\right) = \begin{cases} 0 \leftrightarrow \omega \ll \omega_0 \\ -20 \cdot lg\left(\frac{\omega_0}{\omega}\right) \leftrightarrow \omega \gg \omega_0 \end{cases}$$

formában írható fel. Észrevehető, hogy az első eredmény ($\omega \ll \omega_0$ értékekre) egy az origóból induló egyenest jelent, a második ($\omega \gg \omega_0$ értékekre) pedig egy dekádonként $-20\,dB$ meredekségű egyenes lesz, amely a frekvenciatengelyt ω_0-ban metszi.

A fázismenetet illetően igaz, hogy:

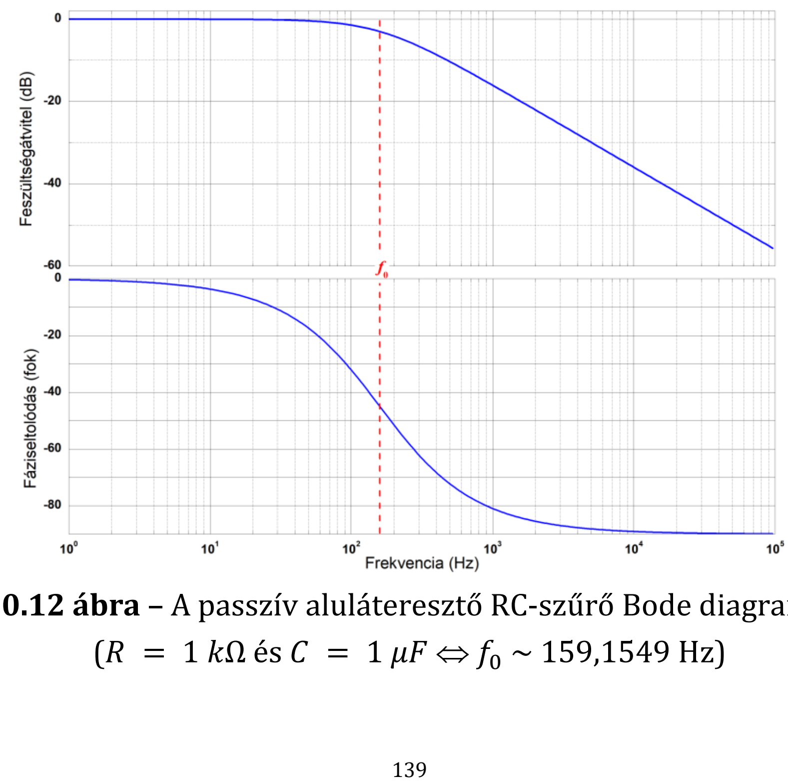
$$\theta(\omega) = -a\,rctg\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) = \begin{cases} 0 \leftrightarrow \dfrac{\omega}{\omega_0} \leq \dfrac{1}{10} \\ -\dfrac{\pi}{2} \leftrightarrow \dfrac{\omega}{\omega_0} \geq 10 \end{cases}$$

A két eset között a fázisszög arányosan változik $log_{10}\,\omega$-val, a meredekség dekádonként -45^o lesz. Az így kapott eredmények grafikus ábrázolása a 20.11 ábrán látottakhoz vezet.



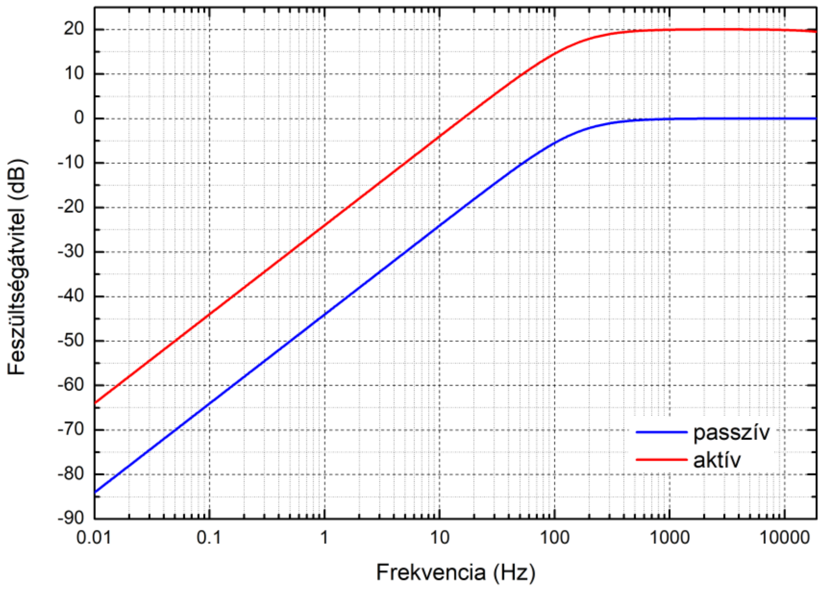
20.11 ábra – A passzív aluláteresztő RC-szűrő feszültségátvitelének és fáziseltolódásának frekvenciafüggése ($R = 1\,k\Omega$ és $C = 1\,\mu F \Leftrightarrow f_0 \sim 159{,}1549$ Hz)

Amennyiben a két részdiagramot egymás fölé helyezzük, megkapjuk a passzív szűrő Bode diagramját:



20.12 ábra – A passzív aluláteresztő RC-szűrő Bode diagramja ($R = 1\,k\Omega$ és $C = 1\,\mu F \Leftrightarrow f_0 \sim 159{,}1549$ Hz)

Aktív szűrők esetén a grafikon az erősítési tényező tízesalapú logaritmusának hússzorosával tolódik el. A 20.13 ábrán egy passzív és egy aktív felüláteresztő RC szűrő ($R = 1\,k\Omega$ és $C = 1\,\mu F \Leftrightarrow f_0 \sim 159{,}1549$ Hz) átviteleinek frekvenciamenetét szemléltetjük és hasonlítjuk össze.



20.13 ábra – A passzív és aktív felüláteresztő RC-szűrők összehasonlítása

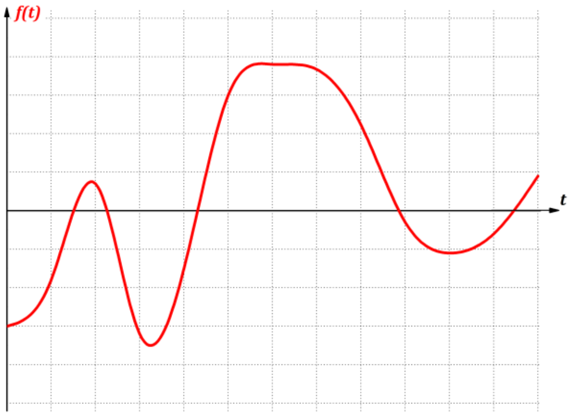
Belátható, hogy a példában, az aktív szűrők esetén, az áteresztési tartományban tapasztalható egy 20 dB-es növekedés a feszültségátvitelben – ez az aktív szűrőnk esetében megfelel egy tízszeres erősítésnek ($20\,dB = 20 \cdot lgA \Leftrightarrow A = 10$).

Természetesen ugyanezeket a lépéseket kell követni akkor is amikor egy erősítőt vagy egy oszcillátort vizsgálunk.

21. A DIGITÁLIS ELEKTRONIKA ALAPELVEI

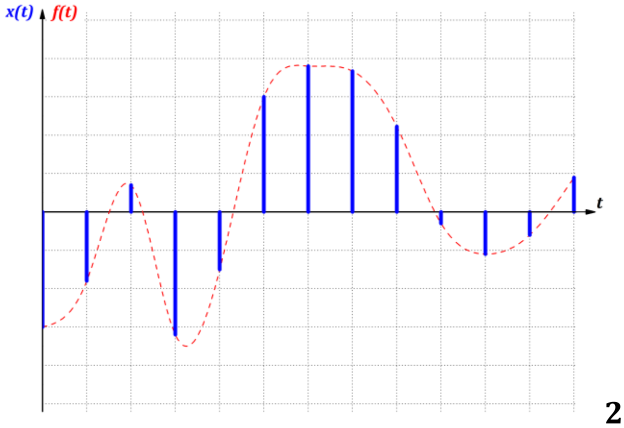
Bármilyen mennyiség felfogható mérhető jelként és a történéseknek (jelenségnek) megfelelő információkat hordoz.

Ha az $f(t)$ jel értékváltozásai folytonosan követik a történéseket, tehát velük hasonló, azaz *analóg* módon viselkednek és az értelmezésből következő értékintervallumban bármilyen értéket felvehetnek, akkor *analóg jel*ről beszélünk (például valamilyen hang leképzése a mikrofon által, az eredmény egy időben változó feszültség, amely folytonosan követi a levegő nyomásváltozásait és végtelen sok pontot kapunk a minimális és a maximális érték között). Ezzel szemben a *digitális jel* egy olyan jel, amely az általa jellemzett mennyiség mérőszámának megfelelően csak véges számú, diszkrét, és egymástól élesen (ugrásszerűen) elhatárolt értékeket vehet fel és látszólag nem követik hűen a történéseket.



21.1 ábra – Analóg jel

Az analóg jelt három általános nagy lépésben alakítható át digitális jellé. Az első lépésben szükség van *mintavételezés*-re, azaz meg kell történjen az analóg jel egyenlő időközönkénti "leolvasása". A mintavételezés ismétlődési frekvenciája az analóg jel legnagyobb frekvenciájúösszetevőjének legalább kétszerese kell legyen (ez a *Shannon-Nyquist féle tétel*). Az így a kapott (mintavételezett) mintasorozat egyértelműen meghatározza az adott folytonos jelt, vagyis a mintasorozatból az eredeti jel valósághűen visszaállítható!

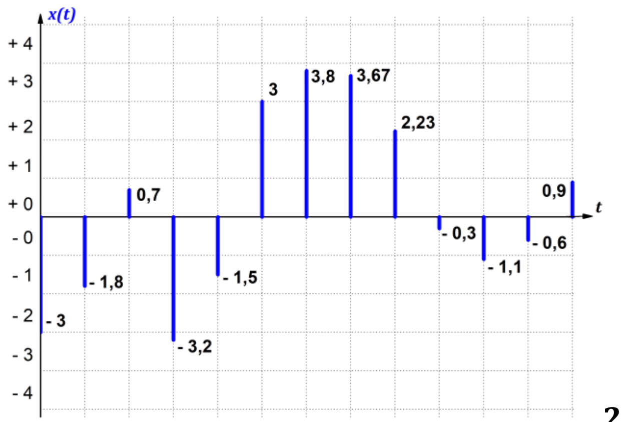


21.2 ábra – Mintavételezett jel

Minél rövidebb a leolvasási időköz, vagyis az úgynevezett *mintavételezési idő*, annál valósághűbben tudjuk beolvasni az adatokat. Így az analóg jelt az amplitúdója pillanatnyi értékeinek megfelelő diszkrét jellé (impulzusok sorozatává) alakítottuk át és ezzel elkészül az $x(t)$ *mintavételezett jel*. Mivel az analóg jel végtelen sok értéket vehet fel, ezért pontosan csak nagyon sok számjeggyel lehetne kifejezni. Nem célunk kifejezni a minta pontos digitális értékét sem, most csak azt kell megállapítani, hogy melyik két érték közé fog esni és valamilyen szabály alapján, milyen megközelítő értéknek felel az meg – ezért feltűntetjük a mintaimpulzusok „magasságát" (tetszőleges egységekben).

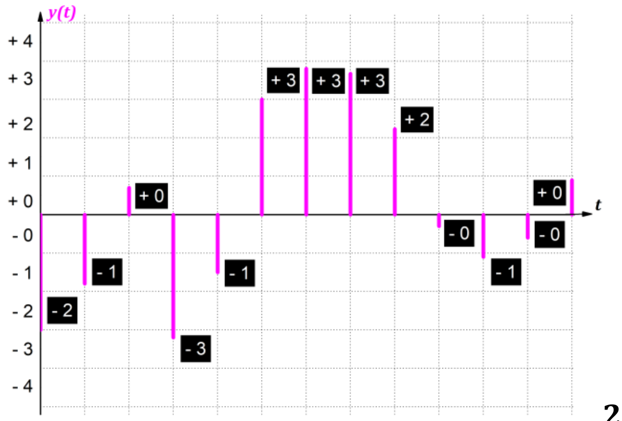
Második lépésben *kvantálás*ra van szükség, azaz meg kell határozni az adott folyamatot jellemző mennyiség lehetséges értékeit. Ezt úgy szokták megvalósítani, hogy az analóg jel amplitúdójának lehetséges változásai alapján meghatározott dinamikatartományt véges számú értéktartományra osztják.

Történjen például az analóg jeltartomány (a minimum és maximum értékek közé eső intervallum) felosztása 10 egyenlő részre (kvantumra), legyenek ezek „+ 0", „+ 1", „+ 2", „+ 3", „+ 4" a pozitív és „– 0", „– 1", „– 2", „– 3", „– 4" pedig a negatív amplitudók számára. Ugyanakkor meg kell azt is állapítani, hogy egyes minták amplitudója (magassága) melyik két érték közé esik, ezért egy lehetséges szabály az, hogy mindig a legközelebbi kisebb értékhez kerekítünk.
Ezek lesznek majd a kvantálási lépcsők. Minden kvantálási lépcsőt egy-egy kvantálási szint jellemez, két szomszédos kvantálási szintet egy kvantálási lépcső választ el, a döntési szint a a kvantálási szintek felezőjében helyezkedik el. A műveletvégzés során egy döntőegység (például áramkör) fogja megállapítani, hogy a mintavételezett jel meghaladja-e vagy sem az adott döntési szintet és ennek alapján besorolja valamelyik kvantálási intervallumba.



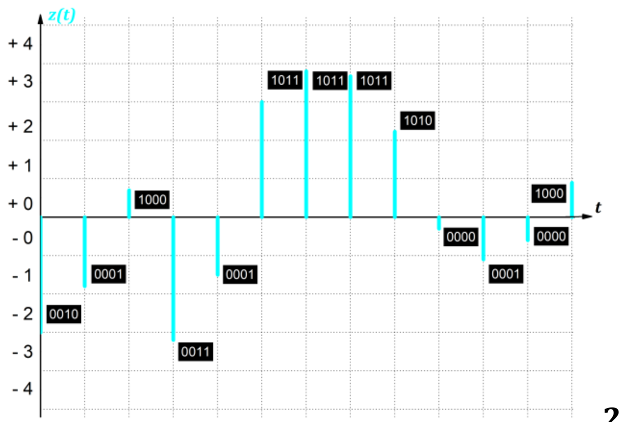
21.3 ábra – A minták nagysága

A gyakorlatban nemlineáris kvantálási lépcsőket szoktak alkalmazni (kis amplitúdók tartományában kisebb, a nagyobb amplitúdók tartományában nagyobb a kvantálási lépcső), így a kis változások által hordozott információ sem fog elveszni. És így megkaptuk a $y(t)$ *kvantált jel*t.



21.4 ábra – A kvantált jel

Végső lépésként következik a *kódolás*, azaz a kvantálási szinteket valamilyen számrendszerben felírt számsorozattal kell majd kifejezni. A szakmai gyakorlatban a legegyszerűbb a 2-es számrendszert használni, azaz a beolvasott értékszinthez hozzárendelünk egy, csak 0 vagy 1 szimbólumokból álló számsorozatot. Az adott helyértéken található szimbólum jelenti az 1 *bit* információt. A 8 bit csoportját szokás *byte*-nak (bájt) nevezni. Esetünkben lehetne az a szabály, hogy a pozitív előjelet az „1”, a negatív előjelet pedig a „0” számjegy jelzi – ezeket követi majd az adott kvantált érték bináris számrendszerben felírva. Így megkaptuk a $z(t)$ *kódolt jel*t.



21.5 ábra – A kódolt jel

Ez egy olyan digitális jel lesz, amely a továbbiakban digitálisan feldolgozható lesz.

Mivel az adott értékszint (helyérték) a két szimbólum közül csakis eggyel lesz leírható (egymás jelenlétét kölcsönösen kizárják), a digitális jelekkel foglalkozó *digitális elektronika* és a *digitális számítógépek* ilyen kétállapotú működése igen nagyon hasonlít a filozófiából ismert *kijelentéslogiká*hoz és annak törvényszerűségeihez. A digitális elektronikában minden 0-ra és 1-re, vagy ezek kombinációjára vezethető vissza, a logika pedig olyan kijelentésekkel dolgozik, amelyek valóságtartalma nem lehet más igaz (helyes) vagy hamis. Ezeknek a gondolati műveletvégzéseknek az elméleti és gyakorlati megvalósítását célozta meg az úgynevezett *kapcsolási algebra*.

Ez tulajdonképpen már nem is csak matematika, hanem egyfajta kapcsolástechnika, vagyis egy olyan műszaki tudományág, amely csupán két, egymástól különböző állapotot felvevő elem (például mechanikai- vagy elektronikus kapcsoló) bonyolult, de rendezett sokasága és értékfelvétele, hogyan vezet el a két lehetséges logikai állapot valamelyikéhez. Ezekben az esetekben a logikai kijelentéseknek már „kézzelfogható” kapcsolástechnikai jelentése is lesz, azaz egy áramkörben lesz áramvezetés vagy sem, egy bizonyos alkatelem működik (vezet) vagy sem, egy adott anyagban a lehetséges mágneses állapot fennáll vagy sem, egy fényt szolgáltató alkatelem (izzólámpa vagy világítódióda) világít vagy sötét marad stb.

Mindezekhez a matematikai alapot az úgynevezett *Boole-algebra* szolgáltatja. Mivel a digitális elektronikában leggyakrabban az úgynevezett *pozitív logika* használatos (lásd az alábbi táblázatot), ezért a Boole-algebra operátorait (műveleteit) és legfontosabb törvényszerűségeit (tételeit) ezzel a logikával adjuk meg.

Logikai érték	0	1
Kijelentéslogikai állítás	hamis	igaz
Mechanikai kapcsoló	nyitott	zárt
Elektronikai kapcsoló	nem vezet	vezet
Áramvezetés	nincs	van
Feszültségszint	alacsony	magas
Fényforrás	nem világít	világít

A logikai algebra egy vagy több *független változó*val (logikai feltétellel) és a megfelelő *függő változó*val (logikai következtetéssel) dolgozik. Természetesen úgy a független, mint a függő változó értékkészlete nem lehet más, mint a logikai 0 és a logikai 1.

A Boole-algebra alapműveletei (operátorai):

jel: $\neg$ = *TAGADÁS* (*negáció* vagy *invertálás*)

jel: $\wedge$ = *ÉS* (*konjunkció* vagy *logikai „szorzás”*)

jel: $\vee$ = *VAGY* (*diszjunkció*, vagy *logikai „összeadás”*)

Minden további más logikai művelet összetettnek tekinthető és ezekből levezethető.

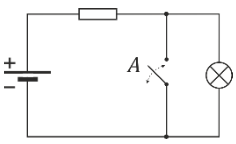
Több lehetőség van arra, hogy megadjuk azt a logikai törvényszerűséget (*logikai függvény*-t), amely alapján a függő változó logikai értéke a független változók logikai értékkombinációiból következni fog:

a) *algebrai alak* – az elvégzendő műveletek szimbólumait tartalmazó és az elvégzési sorrendet is kijelölő összefüggés
b) *szöveges* – a logikai kapcsolatokat, műveleteket vagy törvényszerűséget leíró szöveges feladat
c) *logikai vázlat* – ez egy olyan sajátos grafikus lehetőség, amely az elvégzendő logikai műveleteket az őket megvalósító áramköri szimbólumokkal adja meg kapcsolási rajz formájában
d) *állapotdiagram* – az időfüggő logikai törvények leírására alkalmas, folyamatábraszerű grafikus vázlat, amely a változások irányát és sorrendjét is megadja
e) *Veitch és Karnaugh diagram* – mátrix formájú, cellákból álló keret- vagy elrendezés, amely a keret szélein megadja a változókat, értékkombinációjuknak megfelelő logikai érték pedig a jelöléseknek megfelelő sor és oszlop által defineált cellába kerül
f) *táblázatos* – a függő és a független változók valamennyi lehetséges értékét táblázatos formában adjuk meg egymáshoz rendelésük figyelembevételével

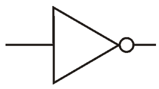
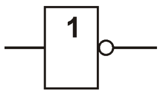
A leggyakrabban használt logikai táblázat az *igazságtáblázat*, amelynél a független változók minden egyes értékkombinációjához megadjuk az adott szabály(sorozat) által hozzárendelhető függő változó logikai értékét, a táblázat oszlopainak számát az összes logikai (függő + független) változó száma, a sorok számát pedig a független változók lehetséges kombinációinak száma (2^n, ahol n független logikai változók száma) adja meg.

A már említett alapműveletek kapcsolástechnikai megvalósítását, algebrai alakját és a nekik megfeleltethető igazságtáblázatot, illetve áramköri szimbólumot az alábbiakban szemléltetjük.

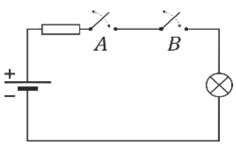
NEGÁCIÓ (¬)
= $\overline{A}$ = “ *NON A* ”
*LOGIKAI TAGADÁS**



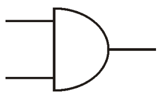
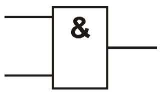
A	$\overline{A}$
0	1
1	0

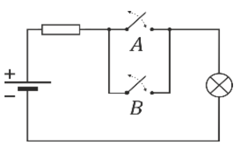
KONJUNKCIÓ (∧)
= $A \cdot B$ = “ *A* ÉS *B* ”
LOGIKAI SZORZÁS



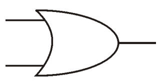
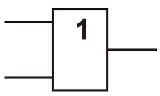
A	B	$A \cdot B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

DISZJUNKCIÓ (∨)
= $A + B$ = “ *A* VAGY *B* ”
LOGIKAI OSZTÁS



A	B	$A + B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

* a negáció vagy logikai tagadás műveletét szokták még *invertálás*-nak is nevezni.

Az alapműveletekkel való számolás szabályrendszerét a Boole-féle algebra határozza meg. Ez a következő axiómarendszerre épül:

(1) A *semleges elem* létezése: $A \cdot 0 = 0$
$A + 0 = A$

(2) Az *egység elem* létezése: $A \cdot 1 = A$
$A + 1 = 1$

(3) *Komplemens elem* létezése: $A \cdot \overline{A} = 0$
$A + \overline{A} = 1$

(4) *Kommutatívitás*: $A \cdot B = B \cdot A$
$A + B = B + A$

(5) *Asszociativitás*: $(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$
$(A + B) + C = A + (B + C)$

(6) *Disztributivitás*: $A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$
$A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$

(7) *Abszorbció* (*elnyelés*): $A \cdot (A + B) = A + A \cdot B = A$
$A + \overline{A} \cdot B = A + B$

(8) *A de Morgan-féle azonosságok*: $\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$
$\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$

(9) *Tautológia:* $A \cdot A = A$
$A + A = A$
$\overline{\overline{A}} = A$

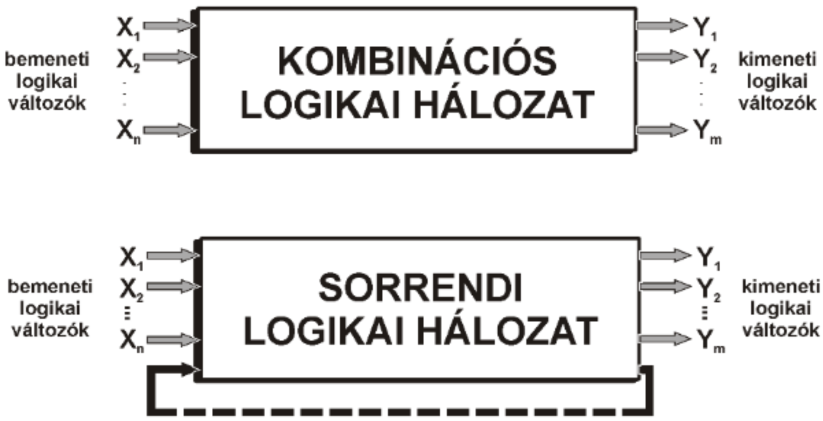
A Boole-féle algebrának, illetve a logikai függvényeknek a műszaki jelentőségét az adja, hogy a 2-es számrendszer lett a mai számítógépek „nyelve” és a logikai változók pedig két állapotú villamos eszközökkel valósíthatók meg igen könnyen. Ezeknek a megvalósításoknak a két leggyakrabban használt lehetősége az *áramút*- és a *szintlogika*.

Amennyiben a választás az áramút logikára esik, a logikai változóknak két pont közötti áramút felel meg: az érték 1 ha az áramút zárt és 0 ha nyitott.

A szintlogikai megvalósításoknál a logikai változónak egy áramköri csomóponton megjelenő feszültségszint fog megfelelni (magas szint $\rightarrow$ 1, alacsony szint 0).

A *logikai hálózatok* olyan, több ki- és bemenettel rendelkező komplexebb kapcsolások, amelyek bonyolultabb logikai feladatokat oldanak meg. Két alapvető típusuk létezik, a *kombinációs logikai hálózat* és a *sorrendi* vagy *szekvenciális logikai hálózat*.

A kombinációs hálózatok esetén a kimenet(ek) logikai értéke(i) kizárólag a bemenetre érkező független logikai változók pillanatnyi logikai érték-kombinációinak eredménye.



21.4 ábra – A kombinációs és a sorrendi logikai hálózatok működési elve

Ezzel szemben a sorrendi hálózatok kimenetére az lesz jellemző, hogy a szolgáltatott logikai értéke függ a hálózat „előéletétől", azaz attól a logikai értéktől, ami előzőleg a kimeneten volt. Ezért, bizonyos értelemben azt is mondhatjuk, hogy a szekvenciális logikai hálózatok időfüggő logikai függvényeket valósítanak meg, visszacsatolás segítségével.

22. VÁLOGATOTT KÖNYVÉSZET ÉS WEBOGRÁFIA

Könyvek, tankönyvek, jegyzetek

A. Kay, T. Green - *Analog Engineer's Pocket Reference*, Texas Instruments, 2019

Bagoly Zs., Varga D. - *Elektronika és méréstechnika*, TypoTex kiadó, 2013

Bokor J., Gáspár P. - *Irányítástechnika járműdinamikai alkalmazásokkal*, TypoTeX kiadó, 2008

Buzás G., Simon A. - *Az analóg és digitális elektronika alapjai*, Ábel kiadó, 2001

Ch. Platt - *Encyclopedia of Electronic Components* Volume 1, Maker Media, 2012

Ch. Platt - Make: *Electronics (Learning by Discovery)*, Maker Media, 2009

Csík N., Kovács L. - *Elektronika alapjai II. Mérési útmutató*, GAMF jegyzet, 2010

D. M. Kaplan & C. G. White - *Hand-on Electronics*, Cambridge University Press, 2003

E. Sternin, P. Boseglav - *Electronics I Laboratory Manual*, Brock University Physics Department, 2013

ECE111 Manual, School of Electrical Engineering & Computer Science, Oregon State University, USA

Fodor Gy. - *Hálózatok és rendszerek*, Műegyetem Kiadó, 2004

Gergely L., Czellár S. - *Elektronikai alkatrészek és műszerek I.*, Tankönyvkiadó, 1985

J. M. Hughes - *Practical Electronics: Components and Techniques*, O'Reilly Media, 2015

J. R. Rumble, D. R. Lide, Th. J. Bruno - *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press 2019

Kovács Cs. - *Elektronika*, General Press, 2007

Luspay T., Bauer P. - *Alaptagok Nyquist és Bode diagramjai*, BME Közlekedésautomatikai Tanszék

Magyari B. - *Elektronikai Minilexikon*, Műszaki könyvkiadó, 1971

Magyari B. - *Rádióamatőrök zsebkönyve*, Műszaki könyvkiadó, 1967

Magyari B, Pintér I. - *Híradástechnikai képletgyűjtemény*, Műszaki könyvkiadó, 1971

M. E. Schultz - *Grob's basic electronics*, McGraw-Hill, 2011

N. Drăgulescu, C. Miroiu, D. Moraru - *Electronica în imagini - Componente pasive*, Ed. Tehnică, 1990

Négyjegyű függvénytáblázatok, összefüggések és adatok, Nemzeti tankönyvkiadó, 2004

N. Drăgulănescu - *Agenda radioelectronistului*, Ed. Tehnică, 1989

O. Bishop - *Electronics: A First Course*, Taylor & Francis, 2011

P. Horowitz, I. Robinson - *Lab Manual for the Art of Electronics*, Cambridge University Press, 1981

P. Horowitz, Th. C. Hayes - *Learning the Art of Electronics*, Cambridge University Press, 2016

P. Horowitz, Th. C. Hayes - *Student Manual for Art of Electronics*, Cambridge University Press, 2000

P. Horowitz, W. Hill - *The Art of Electronics*, Cambridge University Press, 1980

P. Scherz, S. Monk - *Practical Electronics for Inventors*, McGraw-Hill, 2000

R. Ovidiu - *Componente electronice pasive*, Ed. Tehnică, 1981

S. D. Anghel - *Bazele electronicii analogice și digitale*, Presa Universitară Clujeană 2007

S. Hamilton - *An Analog Electronics Companion*, Cambridge University Press, 2003

S. Westcott, J. Riescher Westcott - *Basic Electronics. Theory and Practice*, Mercury Learning, 2017

S. Gibilisco - *Teach Yourself Electricity and Electronics*, McGraw-Hill, TAB Electronics, 2001

S. Gibilisco - *The Illustrated Dictionary of Electronics*, McGraw-Hill, 2001

Szentiday K., Baumann P. - *Passzív áramköri elemek*, Budapesti Műszaki Főiskola, 2003

Szűcs P. - *Elektronika mindenkinek*, Műszaki könyvkiadó, 1987

Texas Instruments Analog System Lab Manual, Wiley & Sons, 2012

T. Williams - *The Circuit Designer's Companion*, Elsevier, 2005

Wersényi Gy. - *Híradástechnikai alkatrészek*, Széchenyi István Egyetem, 2004

Honlapok

Angol nyelvű oktatási anyagok (https://www.electronics-tutorials.ws/)

Bode diagramok elmélete és szerkesztése (https://www.tina.com/hu/bode-plots/)

Digitális elektronikai szimulációkhoz (https://www.digitalelectronicsdeeds.com/index.html)

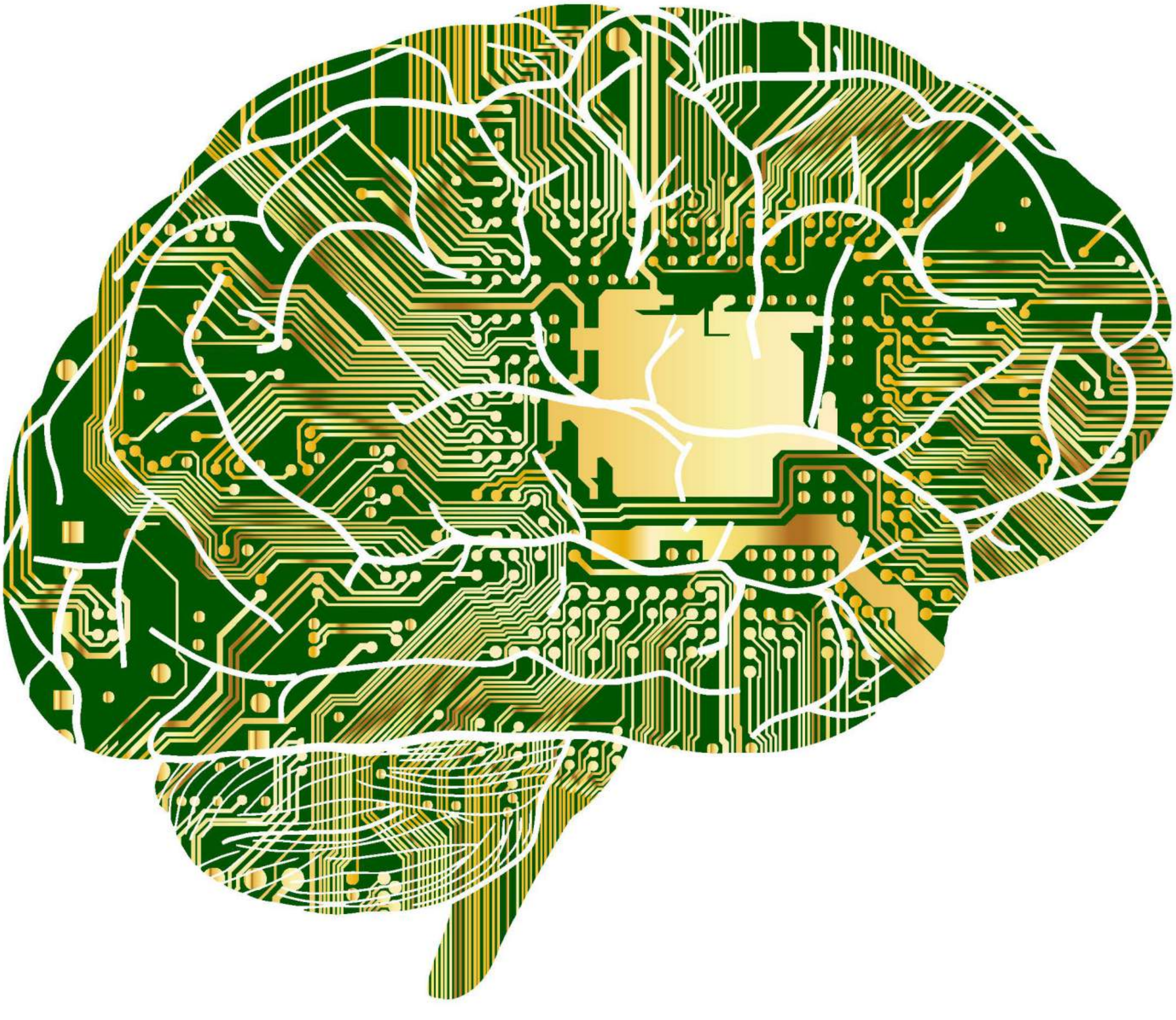
Elektronikai alkatelem adatlapok gyűjteménye (https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/)

Elektronikus eszközök használati útmutatói (https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/)

Kapcsolási rajzok on-line megrajzolása (https://www.circuit-diagram.org/editor/)

Letölthető műszaki papírok gyűjteménye (https://atom.ubbcluj.ro/alpar/plotpapers/)

Letölthető oszcilloszkóp kijelzők (https://atom.ubbcluj.ro/alpar/scopescreens/)



ISBN: 978-606-37-1254-8
ISBN: 978-606-37-1255-5